

# **Sistema de controlo de pressão da câmara interior em vidros duplos e triplos**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

**Autor**

**Pedro Filipe Almeida Oliveira**

**Orientador**

**Professor Doutor Luís Borrego**

Instituto Superior de Engenharias de Coimbra

**Supervisor**

**Engenheiro Rui Joaquim**

Vidromax S.A.

**Coimbra, Dezembro, 2015**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Professor Doutor Luís Borrego por ter possibilitado a realização deste estágio na Vidromax, agradecer também pela sua orientação, esclarecimentos e ajuda durante estes 7 meses.

Ao Engenheiro Rui Joaquim, meu orientador na Vidromax, pela sua ajuda, disponibilidade e transmissão de conhecimentos ao longo de todo o estágio.

Ao professor Fernando Simões, professor no ISEC, pelo interesse, disponibilidade e ajuda no desenvolvimento de métodos de ensaios de tração realizados nos laboratórios do ISEC.

Ao professor Luís Roseiro, professor no ISEC, pelo interesse e disponibilidade revelada numa fase inicial do projeto.

A todos os colaboradores da Vidromax sem exceção, que sempre ajudaram em tudo o que foi necessário para o sucesso deste projeto.

À TECMOLDE, na pessoa do senhor Nilton Sousa, pelas explicações dadas acerca da produção dos modelos de *toppings* desenvolvidos.

Ao pessoal da loja EUROMERCANTE, em Coimbra, pela ajuda na procura de peças de pequenas dimensões necessárias para a montagem de alguns modelos de *toppings*.

Ao pessoal da loja OGAMI, em Coimbra, onde se realizaram a maioria das impressões 3D, indispensáveis para o desenvolvimento deste projeto.

Ao pessoal da FABLAB, em Coimbra, onde também se realizaram algumas impressões 3D utilizando outros métodos.

E, por fim, ao meu pai por ter lido e corrigido este relatório.

Um muito obrigado a todos.

---

## RESUMO

Este relatório final para o Mestrado em Engenharia Mecânica resulta de um estágio de 7 meses na empresa Vidromax em que se insere num projeto de I&DT denominado “*Superglass*” promovido pelo QREN. Este estágio surgiu por convite do professor Luís Borrego para participar num projeto no qual o professor já estava envolvido. Ao longo destes 7 meses foram adquiridos conhecimentos acerca da indústria de vidro e dos diferentes processos de produção e transformação do vidro.

Este projeto englobava um conjunto de etapas para as quais era necessário fazer o desenvolvimento de novas soluções e os respetivos testes para comprovar a sua eficácia. Nem todas as etapas foram desenvolvidas por esta empresa ficando algumas ao encargo de parceiros que a Vidromax dispõe.

O que se desenvolveu ao longo deste estágio foi essencialmente um sistema de pressurização de vidros duplos e triplos e também, em parte, estudou-se a viabilidade da redução da espessura das selagens de silicone dos vidros duplos e triplos de dimensão máxima.

No final do projeto houve ainda a possibilidade de participar numa conferência em que se exponham os resultados desta investigação e também se fez um pedido de registo de patente para o sistema de pressurização desenvolvido.

## **ABSTRACT**

This final report for the Masters in Mechanical Engineering is the result of a 7 month internship in Vidromax company that is part of a R&D project called 'Superglass' promoted by QREN. This internship came by Professor Luis Borrego invitation to participate in a project in which the teacher was already involved. Over this seven months it was acquired knowledge of the glass industry and of the various glass production and transformation processes.

This project incorporated a set of steps for which it was necessary to develop new solutions and the respective tests to prove their effectiveness. Not all steps were carried out by this company, leaving some of them to Vidromax's partners.

What has developed over this internship was essentially a pressurization system for double and triple glazing and also, in part, it was studied the feasibility of reducing the thickness of silicone seals for double and triple glazing with maximum dimension.

At the end of the project there was still the possibility of participating in a conference in which was exposed the results of this research and also filed a patent application for the pressurization system developed.



---

**ÍNDICE**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	II
<b>RESUMO</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>ÍNDICE</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	IX
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. História do vidro .....	1
1.2. A Empresa.....	2
1.3. O projeto.....	3
1.3.1. Descrição do projeto .....	3
1.3.2. Objetivos .....	4
<b>2. VIDRO</b> .....	5
2.1. Vidro – definição .....	5
2.2. Tipos de vidro .....	5
2.2.1. Vidro monolítico .....	5
2.2.2. Vidro termoendurecido ou semi-temperado .....	5
2.2.3. Vidro temperado .....	5
2.2.4. Vidro laminado .....	7
2.2.5. Vidro de controlo solar .....	7
2.2.6. Vidro Duplo .....	8
2.2.7. Vidro triplo .....	9
2.3. Propriedades .....	9
2.4. Fabrico do vidro .....	11
2.4.1. Composição.....	11
2.4.2. Fabrico .....	11
2.5. Transformação do vidro .....	13
2.5.1. Manufaturas .....	13
2.5.2. Linhas de produção na Vidromax .....	15
<b>3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b> .....	21
3.1. Plano de trabalhos .....	21
3.2. Atividades realizadas .....	21
3.2.1. Observação do processo de fabrico na Vidromax .....	21
3.2.2. Fichas de produto .....	22
3.2.3. Relatórios de teste .....	22
3.2.4. Projeto de sistema de regulação de pressão nos vidros duplos .....	22
3.2.5. Testes .....	23
<b>4. RELATÓRIO DE TESTES</b> .....	23

---

4.1.	Testes de aresta e têmpera em vidro monolítico .....	24
4.2.	Teste de aresta em vidro laminado .....	24
4.3.	Teste de combinação de vidro e perfil .....	24
4.4.	Testes de 1ª e 2ª selagem .....	24
4.5.	Testes de redução de selagem .....	25
4.6.	Testes de utilização de argon .....	26
4.7.	Quadros resumo e resultados .....	26
5.	REGULAÇÃO DA PRESSÃO NO INTERIOR DO VIDRO DUPLO .....	27
5.1.	Soluções existentes .....	28
5.1.1.	<i>Topping</i> com furo temporário .....	28
5.1.2.	Tubos capilares .....	29
5.1.3.	VisionWALL .....	29
5.1.4.	Two Way Valve .....	30
5.1.5.	Algumas soluções de fabrico .....	30
5.2.	Soluções estudadas .....	31
5.2.1.	Seleção de válvulas .....	31
5.2.2.	Ferramenta para a válvula .....	31
5.2.3.	Inserções para moldes de injeção de plástico .....	33
5.2.4.	Modelos criados .....	33
5.2.5.	Seleção de materiais .....	50
5.2.5.1.	Verificações .....	50
5.2.5.2.	Base de dados de materiais .....	54
5.3.	Modelo final .....	57
6.	TESTES .....	60
6.1.	Teste de selagem realizado pela Sika® .....	60
6.2.	Testes de espessura mínima da segunda selagem realizado pela Sika® .....	63
6.3.	Ensaio de corte realizados no Departamento de Mecânica do ISEC. ....	64
6.3.1.	Ensaio preliminar .....	65
6.3.2.	Ensaio de esforços de corte .....	70
6.3.3.	Resultados .....	73
6.3.4.	Conclusões .....	76
6.4.	Testes do sistema de controlo de pressão em vidros duplos .....	76
6.4.1.	Teste #1 .....	78
6.4.2.	Teste #2 .....	83
6.4.3.	Teste #3 .....	89
6.4.4.	Teste #4 .....	92
7.	CONCLUSÃO .....	95
7.1.	Proposta de melhorias futuras .....	95
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
	ANEXOS .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 – Terminal de Cruzeiros – Porto de Leixões .....	3
Figura 1-2 – Hotel Montebelo – Viseu .....	3
Figura 1-3 – Hotel Oasis Plaza – Figueira da Foz .....	3
Figura 1-4 – Fórum Coimbra - Coimbra .....	3
Figura 2-1 – Esquematização das tensões num vidro temperado e estilhaços após a fratura .....	6
Figura 2-2 – Comparação entre a fratura de um vidro recozido, termoendurecido e temperado .....	6
Figura 2-3 – Inclusão de NiS .....	7
Figura 2-4 – Vidro laminado .....	7
Figura 2-5 – Esquema de funcionamento de um vidro de controlo solar .....	8
Figura 2-6 – Vista em corte de vidros duplos e esquematização dos seus componentes .....	8
Figura 2-7 – Vidro triplo em corte .....	9
Figura 2-8 – Esquema da produção de vidros pelo método ‘float’ .....	12
Figura 2-9 – Mesa de corte de vidro laminado vertical .....	16
Figura 2-10 – Mesa de corte de vidro laminado horizontal .....	16
Figura 2-11 – Mesa de corte de vidro monolítico horizontal .....	16
Figura 2-12 - Bilateral .....	17
Figura 2-13 – Retilínea .....	17
Figura 2-14 - Griiding .....	17
Figura 2-15 – Esquema completo da Griiding .....	17
Figura 2-16 – Esquema completo do forno de têmpera .....	18
Figura 2-17 – Forno de têmpera .....	18
Figura 2-18 – Sala limpa de pintura .....	19
Figura 2-19 – Esquema completo da linha duplo .....	19
Figura 2-20 – Linha duplo .....	20
Figura 2-21 – Componentes da linha duplo .....	20
Figura 2-22 - Nova linha duplo .....	21
Figura 3-1 – Programa utilizado para desenho 3D .....	23
Figura 4-1 – Exemplo de teste de 1ª e 2ª selagem .....	25
Figura 5-1 – Topping comum .....	28
Figura 5-2 – Topping com furo temporário .....	29
Figura 5-3 – Tubo capilar .....	29
Figura 5-4 – VisionWALL .....	30
Figura 5-5 – Two Way Valve .....	30
Figura 5-6 – Núcleos e válvulas Presta e Schrader .....	31
Figura 5-7 – Válvula 42970-00 .....	31
Figura 5-8 – Modelos de ferramenta .....	32
Figura 5-9 – Ferramenta produzida .....	32
Figura 5-10 – Topping utilizado na empresa .....	33
Figura 5-11 – Modelo 1 .....	36
Figura 5-12 – Modelo 2 .....	37
Figura 5-13 – Modelo 3 .....	37
Figura 5-14 – Modelo 4 .....	37
Figura 5-15 – Modelo 5 .....	38
Figura 5-16 – Modelo 6 .....	38
Figura 5-17 – Vista em corte do modelo 7 .....	39
Figura 5-18 – Modelo 8 .....	39
Figura 5-19 – Modelo 9 .....	40
Figura 5-20 – Componentes do modelo 9 .....	40
Figura 5-21 – – Vistas do modelo 10 .....	41
Figura 5-22 – Funcionamento do modelo 10 .....	41
Figura 5-23 – Modelo 11 com válvula .....	42

Figura 5-24 – Modelo 12.....	43
Figura 5-25 – Modelo 13 e tampa.....	43
Figura 5-26 – Zona problemático do modelo 13 .....	44
Figura 5-27 – Vista da válvula dentro do modelo 14 .....	44
Figura 5-28 – Modelo 14 com tampa.....	45
Figura 5-29 – Modelo 14 com válvula e tampa.....	45
Figura 5-30 – Furo do modelo 15 com recomendações da Schrader .....	46
Figura 5-31 – Demonstração do escoamento do ar .....	46
Figura 5-32 – Modelo 15 em vários tamanhos .....	46
Figura 5-33.....	47
Figura 5-34 – Modelo 15 com a válvula e tampa instaladas.....	47
Figura 5-35.....	47
Figura 5-36 – Modelo 16.....	48
Figura 5-37 – Teste de encaixe do modelo 16 .....	48
Figura 5-38 – Modelo 17.....	49
Figura 5-39 – Parafuso vedante do modelo 17.....	49
Figura 5-40 – Corte no modelo 17 para injeção de gás .....	49
Figura 5-41 – Funcionamento do modelo 17 com a agulha de injeção .....	49
Figura 5-42 – Modelo 17 num vidro duplo .....	50
Figura 5-43 – Toppings de diferentes materiais .....	50
Figura 5-44 – Roda de Nylon.....	51
Figura 5-45 – Teste de parafuso em bloco de nylon.....	51
Figura 5-46 – Rolha com válvula .....	51
Figura 5-47 – Rolha com parafuso .....	52
Figura 5-48 – Teste de fugas de ar.....	52
Figura 5-49 – Teste de fuga de ar sem sucesso .....	52
Figura 5-50 – Teste de fugas de ar bem-sucedido .....	52
Figura 5-51 – Teste de fuga de ar com parafuso .....	53
Figura 5-52 – Construção de topping em nylon.....	53
Figura 5-53 - Topping de nylon .....	53
Figura 5-54 – Encaixe do topping no perfil intercalar .....	54
Figura 5-55 – Modelo final.....	58
Figura 5-56 – Vista em corte do modelo final.....	58
Figura 5-57 – Simulação de montagem .....	59
Figura 5-58 – Modelo final em diferentes dimensões .....	59
Figura 5-59 – Demonstração da instalação.....	60
Figura 5-60 – Adaptador e o seu funcionamento .....	60
Figura 6-1 – Representação do ensaio pretendido.....	65
Figura 6-2 – Equipamento de ensaios.....	66
Figura 6-3 – Adaptador para o ensaio .....	66
Figura 6-4.....	67
Figura 6-5 – Preparação para o ensaio de corte .....	67
Figura 6-6 – Ensaio de tração – rotação do provete.....	68
Figura 6-7 – Nova montagem para o ensaio de corte .....	68
Figura 6-8 – Novo provete de ensaio.....	68
Figura 6-9 – Vistas do provete com o parafuso de união .....	69
Figura 6-10 – Ensaio preliminar .....	69
Figura 6-11 – Gráfico com os esforços suportados pelo provete .....	69
Figura 6-12 – Zona de rotura do silicone .....	70
Figura 6-13.....	70
Figura 6-14 – Representação da área resistente dos provetes .....	71
Figura 6-15 – Método para injeção de ar .....	77
Figura 6-16 – Toppings com cola e sem cola .....	78
Figura 6-17 – Zona sem 1ª selagem .....	79

Figura 6-18 – Imagens dos toppings no vidro duplo .....	79
Figura 6-19 – Sais dissecantes que invadiram o espaço interior do vidro duplo.....	80
Figura 6-20– Injeção de ar no vidro duplo.....	80
Figura 6-21 – Teste de estanquicidade mal sucedido .....	81
Figura 6-22.....	81
Figura 6-23 – Sugestão de montagem dos toppings no perfil .....	82
Figura 6-24 – Nova tampa .....	82
Figura 6-25 – Melhorias no topping utilizado.....	82
Figura 6-26 – Recomendações para o furo da válvula.....	83
Figura 6-27.....	83
Figura 6-28 – Vidros duplos de teste.....	85
Figura 6-29 – Problema nos cantos corrigido.....	85
Figura 6-30 – Modelo 16 no vidro de teste .....	86
Figura 6-31 – Modelos 15 e 17 instalados no vidro de testes .....	86
Figura 6-32 – Injeção de ar no vidro duplo.....	87
Figura 6-33 – Falta de estanquicidade no modelo 16 .....	87
Figura 6-34 – Fugas de ar no modelo 15 .....	88
Figura 6-35 – Modelo 17 sem estanquicidade .....	88
Figura 6-36 – Modelo 17 sem fugas de ar .....	88
Figura 6-37 – Válvula instala num tubo para teste de eficácia.....	89
Figura 6-38 – Teste bem-sucedido .....	89
Figura 6-39 – Modelo 15 em PLA .....	90
Figura 6-40 – Vidro duplo para teste #3.....	90
Figura 6-41– Toppings instalados no vidro de teste.....	91
Figura 6-42 – Modelo 15 em ABS sem sucesso .....	92
Figura 6-43 – Diferentes vistas do topping em nylon.....	93
Figura 6-44 – Vidro duplo montado para teste .....	93
Figura 6-45.....	93
Figura 6-46 – Injeção de ar no vidro duplo.....	94
Figura 6-47 – Teste de estanquicidade bem-sucedido .....	94

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos testes da espessura mínima da segunda selagem .....	64
---	----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Materiais mais indicados para a produção do topping.....	55
Gráfico 2 .....	74
Gráfico 3 .....	74
Gráfico 4 .....	75
Gráfico 5 .....	75



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. História do vidro

O vidro é uma das descobertas mais surpreendentes do homem e a sua história está repleta de mistérios e lendas. Embora não se disponha de dados precisos acerca da sua origem, foram descobertos objetos de vidro nas tumbas egípcias, por isso, imagina-se que o vidro já era conhecido há pelo menos 4.000 anos antes da era cristã.

A Fenícia (hoje Líbano) foi mencionada por um dos maiores historiadores da Antiguidade, Plínio Caio Segundo, como o berço do vidro e revela que, navegadores fenícios, ao deixarem acesas fogueiras construídas em "pedras" de carbonato de cálcio sobre a areia de uma praia, observaram que, após sofrer a Ação do calor, durante toda a noite, formava-se no local um líquido transparente: o vidro.

Uma outra versão é de que teria havido fusão natural de areia em virtude de um incêndio provocado por um raio, que resultou em vidro. É provável que o vidro tenha realmente sido descoberto acidentalmente. Mas, também há hipóteses de que não tenha surgido naturalmente, mas sim, pela queima de peças cerâmicas, ou com a fusão das primeiras peças metálicas pouco antes da Idade do Bronze (5000 - 4000 a.C.). As mais antigas peças cerâmicas com revestimento vítreo, ou esmaltadas, contudo, datam de aproximadamente 12000 a.C.

A vidraria só teve o seu desenvolvimento a partir da era cristã, quando, por volta do ano 30 a.C., foi inventada a vara de sopro. Esta descoberta teria supostamente também ocorrido na Fenícia e tornou possível moldar as peças. A produção concentrou-se na Alexandria, de onde os fenícios a levaram para todo o Mediterrâneo.

O Império Romano deu novo impulso à técnica de soprar o vidro. Por volta do ano 100 da era cristã, os romanos começaram a produzir e usar vidro relativamente plano para confeccionar janelas. O vidro ainda era opaco, mas deixava passar luz suficiente para iluminar os ambientes das construções de famílias mais abastadas. Esta vara de sopro ainda é a mesma utilizada atualmente na produção artesanal do vidro, principalmente para fazer peças decorativas e com formas complexas.

A indústria do vidro teve forte desenvolvimento na ilha de Murano, em Veneza, a partir do século 13. Os vidreiros da localidade eram tão importantes que muitos foram incluídos no Livro de Ouro, que trazia a relação das famílias aristocráticas. A localidade foi estrategicamente escolhida para manter a atividade protegida contra a espionagem. E até hoje, a palavra "Murano" ainda é utilizada para denominar alguns tipos de peças em cristal.

Durante dois séculos, os vidreiros venezianos aprimoraram os espelhos, chegando à forma perfeita somente por volta de 1600. Lupas e lentes já existiam desde o século 11, mas somente foram aperfeiçoadas depois do século 17, favorecendo o surgimento de instrumentos óticos e dando início à modernidade na atividade vidreira.

Todas as peças em vidro, entretanto, continuaram sendo um bem de luxo, sinal de *status* e poder até o final do século 18. Só seria possível mudar essa situação com a produção em série. Assim, Friedrich Siemens deu uma contribuição essencial para tal, ao desenvolver o forno de recuperação térmica.

Com o auxílio destes fornos, foram produzidos, por exemplo, os bulbos para as lâmpadas inventadas por Edison. Estes fornos facilitaram, igualmente, o fabrico de vidros planos em produção contínua, com os processos criados pelo belga Fourcault e pelos norte-americanos Colburn e Owens.

A História do vidro confunde-se com a História da própria humanidade, unindo povos e conhecimentos de todos os continentes. [8]

## 1.2. A Empresa



A Vidromax foi constituída no dia 7 de julho de 1989, como sociedade comercial por quotas, tendo por objetivo a comercialização e transformação de vidro.

A Vidromax transforma todas as categorias de vidro para construção, tendo nos últimos anos iniciado um processo de desenvolvimento interno, no sentido de adequar os seus meios de produção à realidade das exigências arquitetónicas do atual mercado de construção.

Hoje a holding Activa, S.G.P.S. inclui a Maxividro, a Vidromax e a Maxividro Ibérica e opera na transformação de todas as categorias de vidro para a construção. Este grupo empresarial cresceu alavancado numa sólida sinergia entre a experiência comercial da Maxividro e o profundo conhecimento tecnológico na área produtiva da Vidromax, sendo a internacionalização a mais recente resposta à demanda dos mercados onde tem atividade. A internalização dos diferentes processos de transformação do vidro garantiu a capacidade crescente de produção de vidros que configuram soluções técnicas contemporâneas, com redução de custos energéticos e performances térmicas e acústicas otimizadas. Orientadas para o mercado da construção e arquitetura, as empresas do Grupo oferecem hoje soluções que satisfazem os mais exigentes e criativos projetos de construção, quer nos aspetos da segurança, do controlo solar, do isolamento acústico, quer nas propostas de arquitetura e decoração. Também como elemento estrutural – pilares, vigas e pisos – ou ainda em aplicações inovadoras como Vidro Curvo ou Vidro Duplo com persianas incorporadas, ou ainda como material de revestimento em edifícios, as respostas da Activa acompanham, ou antecipam, tendências no cada vez mais exigente e desenvolvido mercado da construção.

Ao longo dos anos a Vidromax tem construído um portefólio de referência prestigiado, que a torna numa das empresas de referência nacional na oferta de vidro para a construção civil. Algumas das obras de destaque são: Hotel Sana Park, Hotel Alfa, Hotel Vila Sol, Hotel Oasis Plaza, Spa Day, Edifício Infante Santo, Edifício Vista do Tejo, Escola Alemã, Pavilhão do Sporting, Business Loures, Porto de Leixões, Piscinas de Armamar, Hotel Montebelo, Fórum de Coimbra, Centro cirúrgico de Coimbra, Expo Salão Batalha, Vulcano Aveiro. [5]



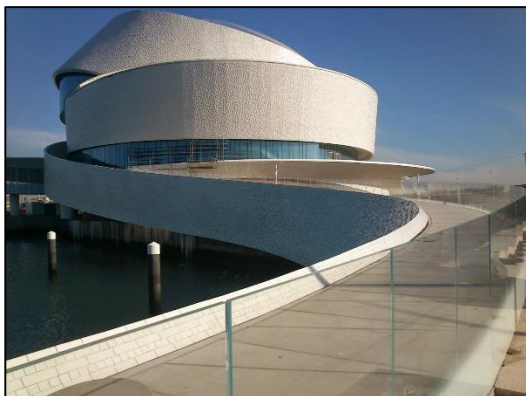


Figura 1-1 – Terminal de Cruzeiros – Porto de Leixões



Figura 1-2 – Hotel Montebelo – Viseu



Figura 1-3 – Hotel Oasis Plaza – Figueira da Foz



Figura 1-4 – Fórum Coimbra - Coimbra

### 1.3. O projeto

Este projeto designa-se *SuperGlass* e integra-se no Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN). Trata-se de um projeto de I&DT que compreende o desenvolvimento de um protótipo à escala real de um vidro duplo ou triplo com  $19\text{m}^2$  que terá incorporado um perfil em U de superfície visível reduzida assim como os desenvolvimentos alcançados ao longo deste projeto como a válvula de pressurização do ar, produto de desidratação do ar e selantes que confirmam um produto 100% estanque.

#### 1.3.1. Descrição do projeto

A Vidromax já fabrica vidro duplo e triplo de grandes dimensões (até  $19\text{m}^2$ ), mas depara-se com problemas de solidez estrutural do vidro composto e de estanquicidade. O primeiro problema pode originar fricções no interior do vidro duplo/triplo, entre os vidros que o constituem, provocando a degradação do vidro e deixando marcas. Este fenómeno ocorre normalmente durante o transporte e montagem do vidro em obra, mas só é visível após determinado período. Isto acontece por causa da flexão que o vidro sofre como consequência das suas dimensões e uma solução possível passa por aumentar a pressão no interior do vidro. O segundo problema origina humidade no interior dos vidros e a perda de gás utilizado no interior dos vidros duplos e triplos. Qualquer dos problemas não tem reparação e implica a reposição das unidades com defeito. As limitações com que a empresa se depara são as seguintes:

- Os mecanismos de produção atuais não garantem a pressão desejada no interior do vidro, para que este se mantenham separados, para evitar quebras e defeitos;
- Depois do vidro duplo estar produzido não é possível desidratar o ar dentro do vidro;

- As selagens existentes não garantem a estanquicidade necessária para evitar perdas e infiltrações de ar.

Atualmente não existe no mercado uma solução que permita aumentar, ainda que temporariamente, a pressão no interior das câmaras do vidro duplo/triplo, ao mesmo tempo que permita uma correta estanquicidade e solidez estrutural da unidade.

Por outro lado, os vidros produzidos pela Vidromax são utilizados maioritariamente em sistemas de caixilharia minimalista onde é colado perimetralmente uma calha em U de alumínio com uma superfície visível de 20mm. A altura deste perfil permite cobrir as selagens do vidro, mas os clientes da Vidromax têm-na incentivado a produzir uma selagem mais estreita, para que seja possível utilizar uma calha de 15mm, na busca pelo minimalismo e por uma área envidraçada maior. Tem também sido incentivada a entregar aos seus clientes vidro em que esta calha perimetral já esteja instalada e faça parte integrante do vidro duplo/triplo.

### 1.3.2. Objetivos

O objetivo principal deste projeto passa pela construção de um protótipo à escala real de um vidro duplo de 19m<sup>2</sup>, a fim de se poder estudar e verificar os resultados das soluções desenvolvidas. Antes de se poder concretizar este objetivo é necessário atingir algumas metas que permitiram a construção desse protótipo, que são as seguintes:

- Averiguar conjunto de processos e matérias-primas que se adequam à produção de vidros duplos e triplos de dimensão máxima.
- Construção de uma solução para regular a pressão no interior dos vidros;
- Desenvolvimento de um produto que consiga desidratar o ar dentro dos vidros, considerando que existirá trocas gasosas entre o interior e exterior posteriormente à produção do vidro;
- Desenvolvimento de selagens que garantam 100% de estanquicidade e que ao mesmo tempo garantam elevada solidez estrutural;
- Criar um perfil em U com superfície visível de 15mm, com todos os componentes interligados (selagem, desidratação, válvula de enchimento, solidez estrutural, corte térmico, etc.)

O plano de desenvolvimento do projeto está dividido por atividades e para cada uma delas há um conjunto de objetivos a cumprir.

- **Atividade 1** - Levantamento do estado da arte
- **Atividade 2** - Desenvolvimento de protótipo de perfil de 15mm para produção de vidro duplo e triplo até 19m<sup>2</sup>
- **Atividade 3** - Desenvolvimento de solução de pressurização de vidro duplo e triplo
- **Atividade 4** - Desenvolvimento de um produto que permita desidratar o ar no vidro duplo e triplo
- **Atividade 5** - Desenvolvimento de produtos para a primeira selagem
- **Atividade 6** - Desenvolvimento de produtos para a segunda selagem e suporte estrutural do vidro duplo e triplo
- **Atividade 7** - Integração dos produtos e soluções numa solução inovadora
- **Atividade 8** - Promoção e divulgação ampla dos resultados

---

## 2. VIDRO

### 2.1. Vidro – definição

De uma forma genérica, vidro é toda a substância mineral frequentemente transparente e por vezes translúcida que à temperatura ambiente está no estado sólido. É um material que resulta da mistura de diferentes silicatos obtidos por fusão, predominando os silicatos alcalinos e os de cálcio. De forma rigorosa, o vidro é o resultado da combinação de dois silicatos: um alcalino e outro terroso ou metálico. Dessa junção, obtém-se uma matéria vitrificável, ou seja, o vidro propriamente dito, que apresenta uma estrutura não cristalina ou amorfa. Apesar dos vidros usados na construção terem, em geral, uma constituição muito semelhante as suas propriedades podem diferir bastante, dependendo dos tratamentos térmicos a que são sujeitos, dos revestimentos que lhes são aplicados, etc. O vidro é um material frágil com um comportamento mecânico linear perfeitamente elástico, nunca apresentando, portanto, deformação permanente. A resistência teórica do vidro é determinada pela energia necessária para quebrar as ligações químicas entre os seus constituintes. [1]

### 2.2. Tipos de vidro

#### 2.2.1. Vidro monolítico

O vidro monolítico é um vidro *float* ('comum') que não foi termoendurecido ou temperado. É feito por um processo de recozimento, ou seja, um arrefecimento controlado que evita tensões residuais no vidro. Estes vidros podem ser cortados, maquinados, perfurados e polidos.

#### 2.2.2. Vidro termoendurecido ou semi-temperado

O vidro termoendurecido é submetido a um tratamento térmico que lhe confere resistência a solicitações mecânicas e térmicas acima do vidro monolítico. Este tratamento térmico é semelhante ao tratamento de têmpera, mas neste caso o arrefecimento do vidro é lento. Geralmente é duas vezes mais forte que o vidro monolítico da mesma espessura e configuração. Quando se fragmenta os estilhaços tendem a ser maiores que aqueles do vidro completamente temperado. É um vidro destinado às situações em que se deseja um reforço contra o vento ou a quebra térmica. Este vidro não pode ser cortado ou perfurado após o tratamento térmico. Quaisquer alterações podem causar a quebra do vidro.

#### 2.2.3. Vidro temperado

O vidro temperado é aproximadamente quatro vezes mais forte do que o vidro monolítico com a mesma espessura e configuração. Quando quebra, fratura-se em pequenos fragmentos, o que torna este vidro mais seguro que os outros sendo esta uma das principais razões para a sua utilização. Para produzir este vidro parte-se de um vidro monolítico e aquece-se até os 690°C de temperatura, aproximadamente, em seguida faz-se um arrefecimento rápido de forma controlada. Com isto consegue-se que as superfícies do vidro fiquem com tensões de compressão enquanto na zona interior existem tensões de tração. O vidro temperado não pode ser cortado ou perfurado após o tratamento térmico, quaisquer alterações, como o polimento das arestas, furações ou entalhes, podem causar a quebra do vidro.

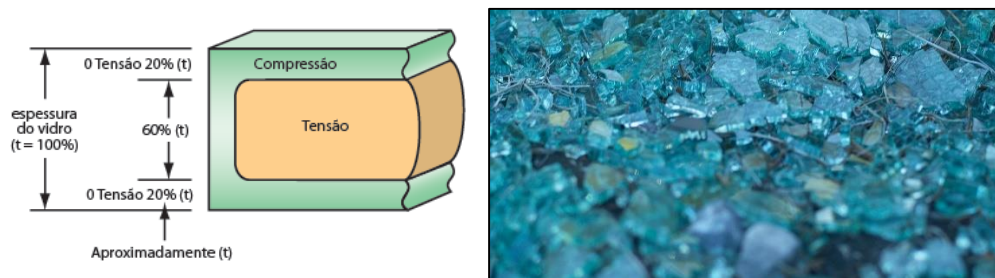


Figura 2-1 – Esquematisação das tensões num vidro temperado e estilhaços após a fratura

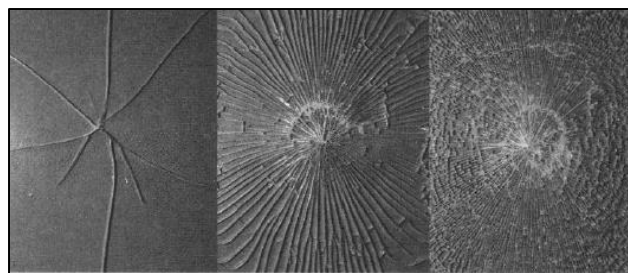


Figura 2-2 – Comparação entre a fratura de um vidro recozido, termoendurecido e temperado

#### 2.2.3.1. Heat Soaking Testing

Todos os vidros planos fabricados por flutuação contêm algum nível de imperfeição. Um tipo de imperfeição pode ser a inclusão de sulfureto de níquel (NiS). A maioria das inclusões de NiS são estáveis e não causam problemas. Há, no entanto, o potencial dessas inclusões causarem quebras espontâneas no vidro temperado sem que qualquer carga ou *stress* térmico seja aplicado. As quebras ocorrem por causa da mudança de fase nos NiS (de fase  $\alpha$  para fase  $\beta$ ), isto faz com que a inclusão aumente de volume (entre 2 a 4%). Durante a produção do vidro *float*, o vidro é arrefecido lentamente para evitar que existam tensões residuais de compressão na sua superfície e na aresta. Durante o recozimento do vidro as inclusões de NiS tem tempo para que a sua mudança de fase ocorra de forma estável sem haver quebra do vidro. No processo de têmpera, com o aumento de temperatura as inclusões de NiS que estão no vidro ficam na sua fase  $\alpha$  que a altas temperaturas é estável e de menor dimensão. O arrefecimento rápido necessário para a têmpera, prende a mudança de fase e pode aprisionar a inclusão antes de ela completar o seu crescimento volumétrico. Mais tarde, devido a variações de temperatura a mudança de fase e o correspondente aumento de volume pode continuar e levar à quebra do vidro.

O *Heat Soaking* é um processo que pode expor as inclusões de NiS no vidro temperado. Para controlar este fenómeno coloca-se o vidro temperado dentro de uma câmara, onde a temperatura é aumentada para aproximadamente 290°C. Esse processo acelera a expansão do sulfureto. O vidro que contiver inclusões de sulfureto de níquel quebra-se dentro da câmara, reduzindo assim o risco de quebra depois do vidro estar instalado. No entanto este processo apenas assegura que os vidros que sobreviveram a este teste têm uma menor probabilidade de quebrar espontaneamente.

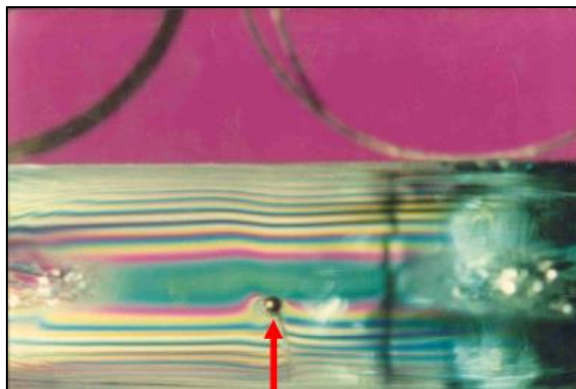


Figura 2-3 – Inclusão de NiS

#### 2.2.4. Vidro laminado

O vidro laminado é formado por duas ou mais lâminas de vidro permanentemente unidas, com uma ou mais películas de butiral polivinil (PVB), utilizando calor e pressão. As lâminas e as películas podem variar em cor e espessura para se adequar a cada projeto. Mesmo que um vidro laminado se quebre os fragmentos ficam unidos à camada de plástico, garantindo assim a segurança das pessoas que possam estar nas proximidades. Para aumentar a resistência ao impacto, é possível incorporar vidro termoendurecido ou temperado às unidades de vidro laminado. Os vidros laminados podem ser usados na proteção contra perfurações, explosões, projéteis e antivandalismo. Também é útil para atenuar a transmissão do som.

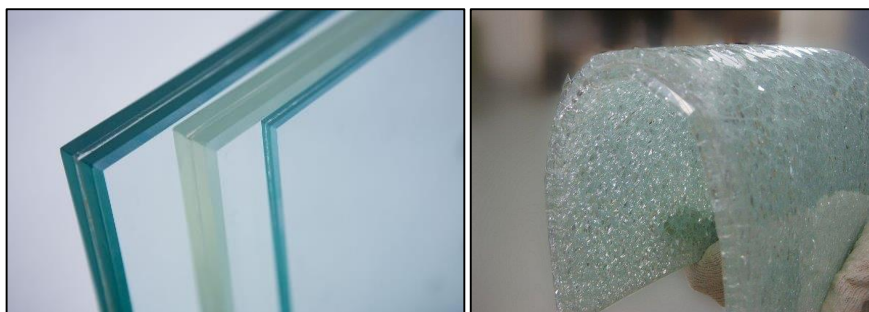


Figura 2-4 – Vidro laminado

#### 2.2.5. Vidro de controlo solar

Os vidros com revestimento baixo-emissivo (Low-E) reduzem a entrada direta de energia solar na construção. Antes do seu desenvolvimento, utilizavam-se vidros coloridos (vidro que absorve calor) ou revestimentos refletivos para reduzir a transmissão de energia solar. Porém, os vidros coloridos tendem a re-irradiar o calor absorvido. Os revestimentos baixo-emissivos (Low-E) refletem menos luz visível, mas limitam a entrada de energia solar, permitindo redução dos custos de energia elétrica com ar-condicionado. Estes revestimentos, também conhecidos por ‘capas’, são depósitos de natureza metálica que se aplicam no vidro durante o seu fabrico no processo ‘float’. Este processo de pirolise confere diferentes características à capa depositada, total integração na superfície do vidro, grande resistência e estabilidade temporal e o controlo solar e de reflexão.



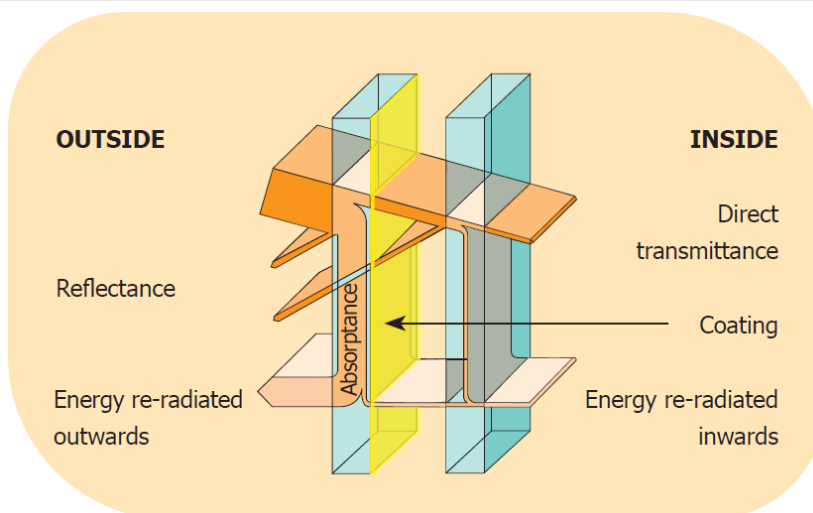


Figura 2-5 – Esquema de funcionamento de um vidro de controlo solar

### 2.2.6. Vidro Duplo

O vidro duplo é um vidro em que uma câmara-de-ar seco ou gás inerte é encerrada entre dois vidros. Os vidros ficam separados por um perfil intercalar que normalmente é de alumínio mas para aplicações mais eficientes pode ser feito de materiais isolantes. Este perfil é oco e tem pequenos furos ao longo da sua superfície. Como o ar que fica preso entre os dois vidros pode conter humidade, dentro do perfil intercalar existem sais desidratantes (dissecantes) que absorvem essa humidade e evitam qualquer condensação que pudesse surgir dentro do vidro duplo. Em alternativa, o ar existente no espaço entre os vidros pode ser substituído por gases inertes, sendo o mais comum o Árgon mas também pode ser usado o Criptón ou Xénon. Estes gases são mais densos que o ar e reforçam as propriedades de isolamento térmico. A estanquicidade dos vidros é garantida por duas selagens. A primeira é feita entre o perfil intercalar e os vidros, normalmente é utilizado um selante à base de poliisobutileno (PIB - butilo). Na segunda selagem utilizam-se silicones aplicados na periferia resultante do espaço entre os dois vidros e o perfil intercalar.

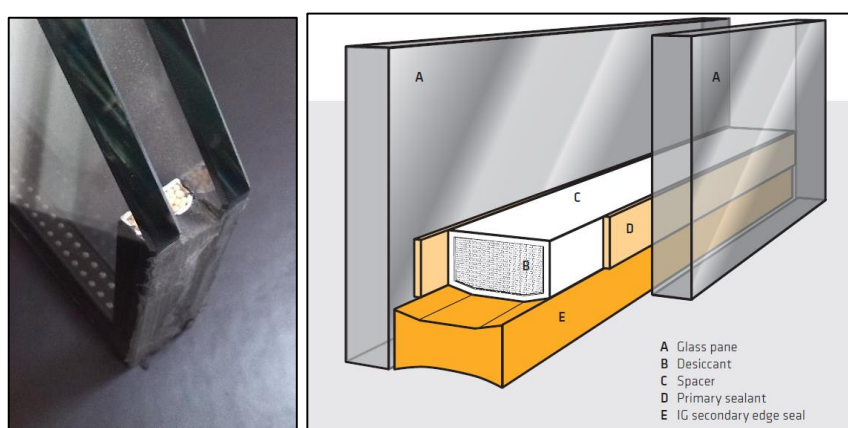


Figura 2-6 – Vista em corte de vidros duplos e esquematização dos seus componentes

### 2.2.7. Vidro triplo

O vidro triplo tem o mesmo princípio que o vidro duplo, mas neste caso utilizam-se três vidros e duas câmaras-de-ar ou gás. Este tipo de construção trás benefícios no isolamento térmico ainda mais evidentes que os vidros duplos.



Figura 2-7 – Vidro triplo em corte

[2] [3] [4]

## 2.3. Propriedades

### Massa volúmica

Normalmente aceita-se que a densidade do vidro é de 2.5, ou seja, para uma chapa de 1mm de espessura, um vidro de 1 metro quadrado pesa 2.5 kg. A sua massa volúmica expressa em unidades SI é portanto  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

### Resistência à tração

A resistência à tração varia entre 30 e 70 MPa e depende da duração da carga (para cargas permanentes, a resistência à tração diminui cerca de 40%), da humidade (diminui em cerca de 20%), da temperatura (a resistência diminui com o aumento de temperatura) e do corte e estado dos bordos.

### Resistência à compressão

A resistência à compressão do vidro é muito elevada cerca de 1000 MPa, o que quer dizer que para quebrar um cubo de vidro com 1 centímetro de aresta, a carga necessária é da ordem de 10 toneladas.

### Resistência à flexão

A resistência à rotura em flexão para um vidro ‘float’ com recozimento é cerca 40 MPa e para um vidro temperado é entre 120 MPa e 200 MPa. Estes valores variam ainda consoante a espessura e também depende do acabamento da aresta do vidro. A elevada resistência do vidro temperado deve-se às tensões de compressão existentes à superfície do vidro resultantes do processo de têmpera.

### Elasticidade

O vidro é um material perfeitamente elástico, nunca apresenta deformações plásticas. No entanto é frágil, quando sujeito a grandes esforços fratura sem que existam indícios precursores.

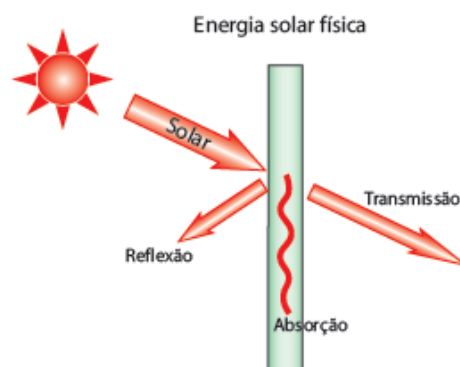
### Tensões de origem térmica

Devido à baixa condução térmica do vidro, o aquecimento ou arrefecimento parcial de um vidro origina tensões internas que podem levar à sua rotura. Os vidros temperados conseguem suportar diferenças de temperatura maiores, que vão de 150 a 200°C.

	Grandeza	Unidades
Módulo de Young, E	48-794	GPa
Módulo de elasticidade transversal	26-33	GPa
Coefficiente de Poisson, $\nu$	0,2 – 0,27	-
Coefficiente de dilatação linear	$9 \times 10^{-6}$	°C <sup>-1</sup>
Calor específico	840	J/kgK
Dureza MOHS	6,5	-

### Radiação

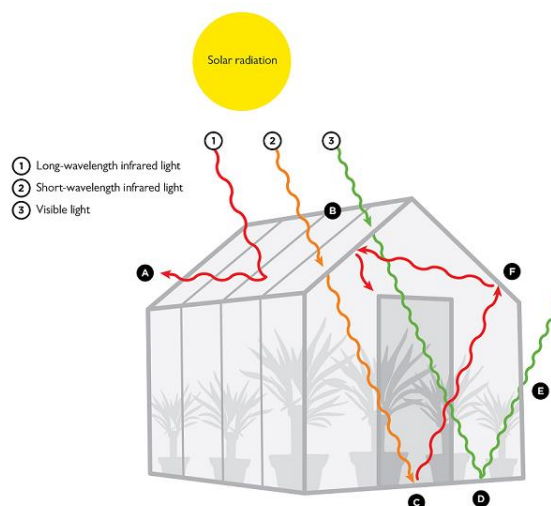
Quando uma radiação incide sobre um vidro uma parte é refletida, outra é absorvida através da espessura do vidro e uma terceira parte é transmitida. A relação entre cada uma destas três partes e o fluxo incidente definem o fator de reflexão, o fator de absorção e o fator de transmissão do vidro.



### Efeito de estufa

A energia solar que entra num espaço através dos vidros é absorvida pelos objetos e pelas paredes interiores, estes aquecem e reemitem um raio térmico primordialmente na gama do infravermelho remoto (comprimento de onda superior a  $5\mu\text{m}$ ). Ora, como os vidros são praticamente opacos às radiações com um comprimento de onda superior a  $5\mu\text{m}$ , a energia solar que entra pelos vidros fica assim retida no local que tem tendência a aquecer. Note-se que a própria radiação emitida pelo sol também contém o infravermelho remoto e este é logo refletido pelo vidro. Mas a radiação que é transmitida pelo vidro para o interior do espaço e depois é reemitida pelos objetos perdeu energia, ficando assim com o comprimento de onda do infravermelho remoto acabando por ficar ‘presa’ no interior do espaço. É este o efeito de estufa que se constata por exemplo num carro estacionado ao sol com os vidros fechados.





### Fator solar g

Fração de radiação solar incidente que entra num local e transmitida através de um vidro (transmissão + reemissão energética do vidro para o local). É uma das características essenciais dos vidros com capa de controlo solar.

### Coeficiente U

É o fluxo de calor que passa através de uma parede com uma superfície de  $1\text{m}^2$ , separando dois ambientes cujas temperaturas diferem  $1^\circ\text{Kelvin}$ , ou seja, mede o ganho ou perda de calor através do vidro que ocorre devido à diferença entre a temperatura do ar interno e externo do edifício, também é designado por coeficiente geral de transferência de calor. É característica determinante para a performance de isolamento térmico dos vidros duplos. Quanto mais baixo o seu valor, melhor.  $[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$ . [1] [2]

## **2.4. Fabrico do vidro**

### **2.4.1. Composição**

Os vidros silico-sodio-cálcico utilizados em construção (ditos ‘comuns’) integram na sua composição:

- Sílica, um corpo vitrificante introduzido na forma de areia (70 a 72%);
- Soda, um fundente na forma de carbonato e sulfato (cerca de 14%);
- Cal, usada como estabilizante na forma de calcário (cerca de 10%);
- Diversos óxidos como a alumina ou magnésio que melhoram as propriedades físicas do vidro, em particular a resistência aos agentes atmosféricos.
- Alguns tipos de vidros ao incorporam óxidos metálicos que conferem coloração à massa.

### **2.4.2. Fabrico**

O processo mais comum para o fabrico de vidro é o chamado «processo *float*». Este processo foi desenvolvido pela Pilkington.

Este processo pode ser dividido em 5 fases:

1. **Composição:** As operações de transporte, pesagem, mistura e admissão ao forno são feitas de forma automática. A mistura é humidificada para evitar a segregação dos grãos dos diferentes componentes e a libertação de poeiras. Para diminuir a temperatura de fusão misturam-se fragmentos de vidro (casco) à mistura a vitrificar.
2. **Forno de fusão:** a elaboração do vidro desenvolve-se em três fases essenciais:
  - A fusão, durante a qual as matérias-primas fundem a temperaturas próximas de 1550°C;
  - A afinagem, ao longo da qual o vidro fundido é homogeneizado e se liberta de eventuais bolhas gasosas;
  - O acondicionamento térmico, em que o vidro menos viscoso é arrefecido até à viscosidade adequada para lhe conferir a forma final.
3. **Banho de estanho:** o vidro líquido é lançado sobre estanho fundido a cerca de 1000°C. Como o vidro é menos denso que o estanho flutua, e forma uma lâmina com uma espessura natural de 6 a 7mm (processo *float*). Com o progresso tecnológico, hoje em dia é possível obter lâminas de vidro com espessuras entre 1,8mm e 19mm controlando a velocidade a que a chapa de vidro vai solidificando à medida que avança no banho de estanho. Na face de baixo do vidro a sua superfície é polida pelo estanho e na face do lado de cima o polimento é feito por chamas.
4. **Forno de recozimento:** à saída do banho de estanho, a lâmina de vidro agora rígida passa pelo 'recozimento', que é um túnel de arrefecimento controlado. A temperatura do vidro vai descendo regularmente desde 620C até 250C. Segue-se um arrefecimento mais lento já ao ar livre. Isto permite a libertação das tensões residuais no vidro que provocariam a rotura do vidro durante as operações de corte que se seguiram.
5. **Corte:** A lâmina de vidro frio, até aqui uma peça em contínuo, é cortada automaticamente em chapas com dimensões máximas de 6000x3210mm.

[2]

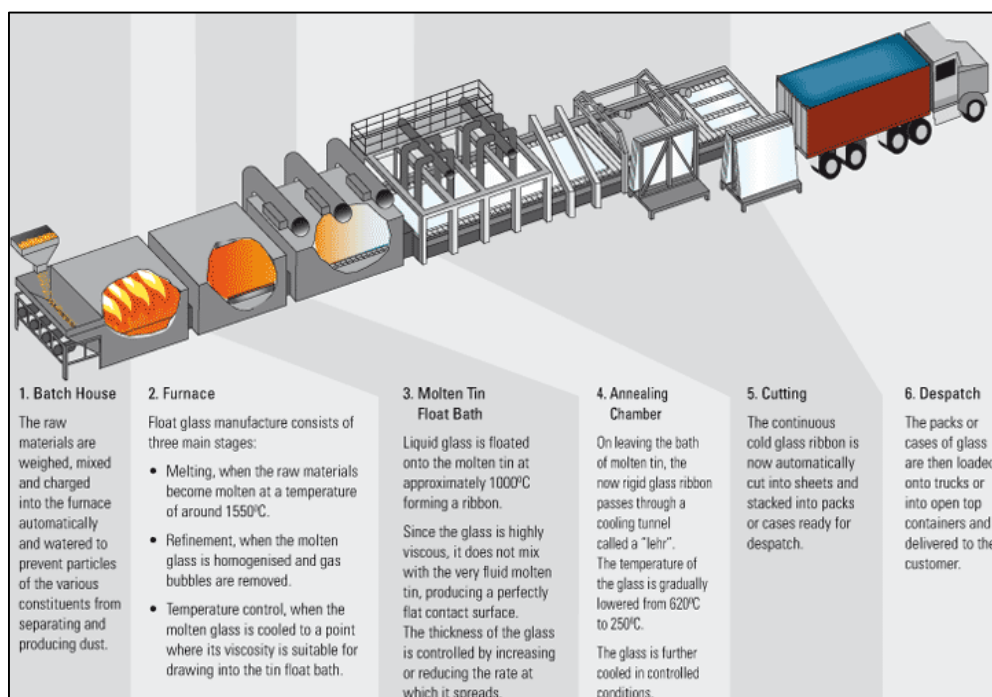


Figura 2-8 – Esquema da produção de vidros pelo método 'float'

## 2.5. Transformação do vidro

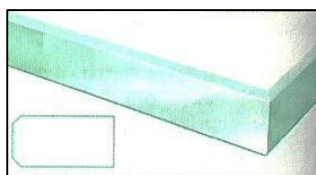
### 2.5.1. Manufaturas

Uma vez cortado nas dimensões de utilização, o vidro é submetido a um tratamento mecânico ou manual a frio destinado a melhorar a sua funcionalidade, a realçar o seu aspeto ou a personalizá-lo. São possíveis várias manufaturas: arestas (cantos), corte de formas, entalhes, furos, foscagem, etc.

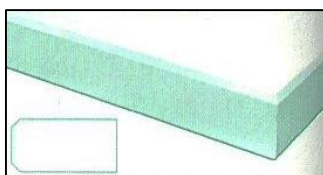
O acabamento das arestas elimina as irregularidades resultantes do corte do vidro e antes da têmpera do vidro, deve-se sempre fazer a execução da aresta do vidro.

#### Acabamentos de aresta

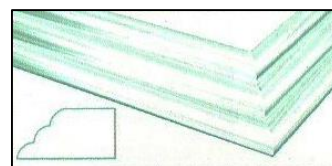
Canto Roçado



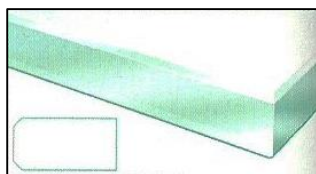
Canto tratado



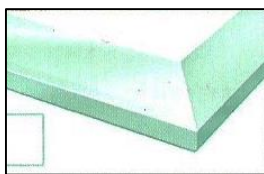
Cascata



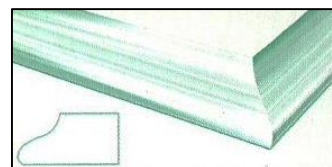
Aresta polida brilhante



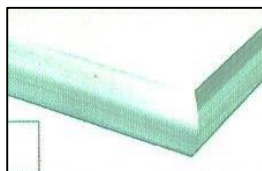
Aresta abatida



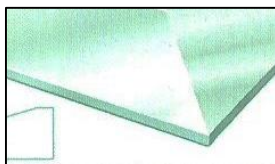
Bico de corvo



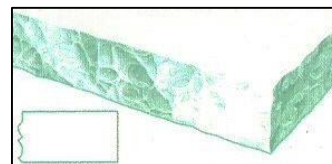
Aresta boleada



Biseau



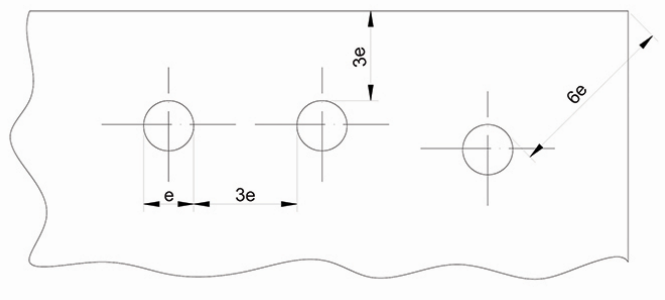
Cantos trincados



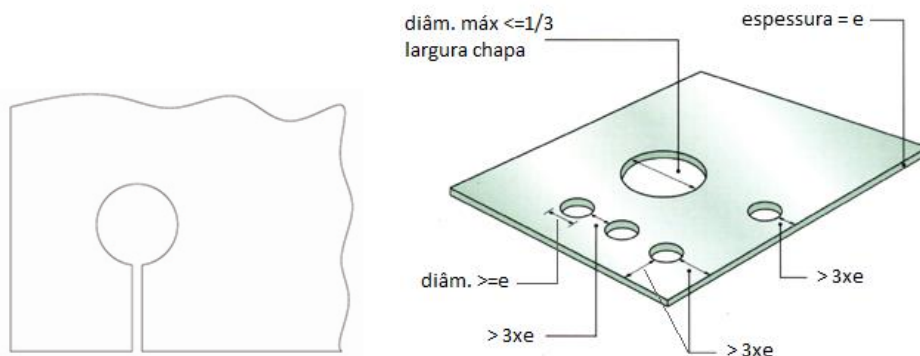
#### Furos e entalhes

Na produção de furos e entalhes existem algumas regras que devem ser seguidas. Estas regras limitam as dimensões que os furos e entalhes devem ter e local em que se posicionam no vidro.

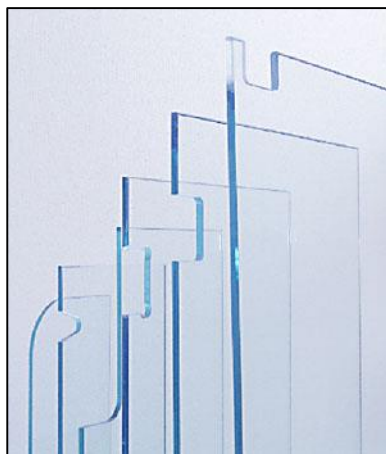
Quando se fazem furos, o seu diâmetro deve ser no mínimo igual à espessura do vidro, ou seja, num vidro com 10mm de espessura o furo deve ter no mínimo 10mm de diâmetro. O seu diâmetro máximo, ou o somatório do diâmetro dos vários furos deve ser no máximo 1/3 da largura da chapa. Em relação ao posicionamento dos furos, a distância entre o bordo da chapa e o bordo do furo deve ser no mínimo 3 vezes a espessura da chapa, esta também é a distância mínima entre o bordo de dois furos consecutivos. Quando os furos estão nos cantos dos vidros a distância mínima entre os bordos do furo e o canto passa a ser 6 vezes a espessura do vidro (distância medida na diagonal).



Quando o furo se aproxima dos bordos sem respeitar as regras ditas anteriormente deve-se fazer um rasgo desde o furo até ao bordo do vidro mais próximo.



No que respeita aos entalhes, a sua produção consiste, normalmente, na realização de um furo inicial seguido de cortes nas direções necessárias para produzir o efeito desejado. Aqui também existem algumas limitações, sendo que a altura do entalhe não deve ultrapassar a sua largura, a distância entre dois entalhes deve ser no mínimo igual à metade da largura do maior entalhes e a distância entre o bordo do vidro e o entalhe deve ser no mínimo igual à metade da largura do entalhe e sempre superior a 100mm.



### Foscagem a areia

O acabamento mate é obtido por projeção de areia na superfície do vidro. Durante esta operação, as partes que se pretendem transparentes cobrem-se com uma máscara. A profundidade da foscagem e o aspeto translucido dependem da intensidade da projeção e da areia utilizada.

Após a manufatura e dependendo da natureza do produto o vidro pode ainda ser curvado, temperado ou montado em vidro duplo ou triplo.



[2]

### 2.5.2. Linhas de produção na Vidromax

Nas instalações da Vidromax os processos de transformação dos vidros estão divididos por zonas.

A transformação do vidro começa na zona de **Corte**. Aqui as chapas de vidro, com dimensões aproximadamente de 6000x3210mm, são carregadas através de uma transportadora automatizada de uma zona de armazém de *stock* para as mesas de corte. Nestas mesas a chapa de vidro é cortada consoante uma otimização definida para inserir o máximo de vidros com as dimensões determinadas pelos clientes e obtendo-se o mínimo de desperdício. Nesta empresa existem três mesas de corte, uma mesa de corte horizontal para vidro monolítico, outra mesa de corte horizontal mas para vidro laminado e a terceira faz o corte de vidro laminado na vertical de uma forma mais automatizada. Em qualquer uma das máquinas o corte é feito por ferramentas de corte diamantadas, nas máquinas de corte de vidro laminado há ainda resistências elétricas que produzem calor nas arestas cortadas a fim de derreterem a película de butiral polivinil existente na composição do vidro laminado. Depois do corte há ainda a necessidade de separar o vidro. A máquina de corte do vidro monolítico apenas faz o 'risco' na superfície do vidro e para separar o vidro é necessário que o operador na máquina quebre o vidro pela zona onde foi traçado o corte. Na mesa de corte vertical de vidro laminado a máquina consegue separar os vidros automaticamente, mas para os que têm menores dimensões é necessário uma mesa auxiliar que corta o vidro na horizontal.





Figura 2-9 – Mesa de corte de vidro laminado vertical



Figura 2-10 – Mesa de corte de vidro laminado horizontal



Figura 2-11 – Mesa de corte de vidro monolítico horizontal

Na zona de **Transformação** é onde se trabalha as arestas dos vidros e também se fazem furos e entalhes. Aqui há uma variedade de máquinas que servem diferentes propósitos. Começando pela Retilínea, esta permite a execução de aresta polida brilhante em apenas um lado do vidro o que a torna útil para vidros de formato trapezoidal, por exemplo. As máquinas de furos manual e automática permitem fazer furos no vidro com o diâmetro desejado e serve também para fazer os furos necessários para que se possam fazer os cortes para entalhes nos vidros. Neste espaço há ainda uma máquina de aresta Bilateral que permite fazer aresta polida brilhante em dois lados do vidro ao mesmo tempo. Em qualquer uma das operações de transformação do vidro tem de haver sempre um arrefecimento eficaz da superfície do vidro. Na generalidade das máquinas utiliza-se água desmineralizada que circula em circuito fechado sendo filtrada por osmose. Na zona da têmpera há ainda uma máquina que faz a aresta roçada em torno de todo o vidro. Esta máquina tem capacidade para trabalhar vidros de grandes dimensões. Nesta máquina chamada de “Grinding” existem duas cabeças rotativas com mós, estas serão as responsáveis pela execução da aresta. A primeira cabeça faz a primeira aresta vertical da chapa começando de baixo para cima, no fim desta aresta a cabeça permanece no limite superior da chapa. Quando a cabeça chega a este ponto, a máquina começa a movimentar a chapa através de ventosas e rolos, assim a primeira mó faz a aresta superior da chapa enquanto esta se desloca. Ao mesmo tempo a segunda mó faz a aresta inferior. Quando as duas mós fazem todo o comprimento da chapa, ela para e a segunda mó começa a subir fazendo a aresta vertical que falta. No fim as duas cabeças encontram-se na parte superior da máquina. Depois de transformado o vidro passa por lavadouras para remover a sujidade que se acumula.



Figura 2-12 - Bilateral



Figura 2-13 - Retilínea



Figura 2-14 - Griiding

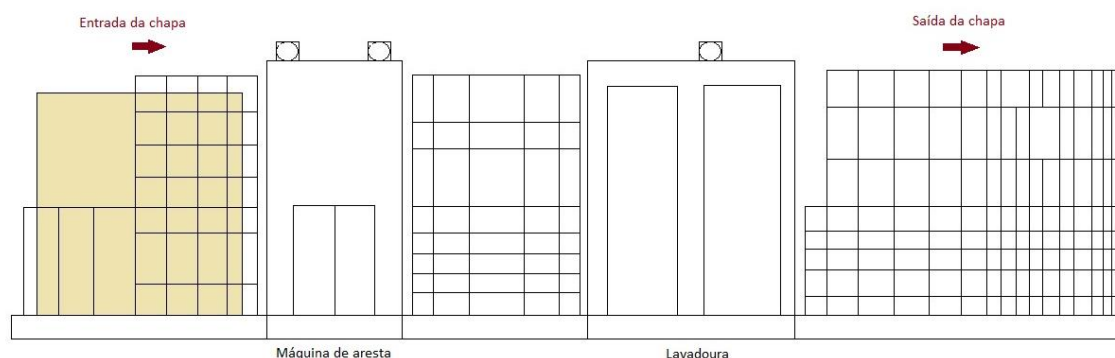


Figura 2-15 - Esquema completo da Griiding

A zona de **Têmpera** consiste num forno de grandes dimensões e numa zona de arrefecimento. As chapas de vidro entram no forno (a) que está a uma temperatura em torno dos  $690^{\circ}\text{C}$  e onde permanece durante alguns segundos. Depois de ser aquecido o vidro é transportado por rolos para a zona de arrefecimento (b) (onde a têmpera propriamente dita é feita) e aqui o vidro é arrefecido de forma brusca. Para cada tipo de vidro e dimensão, existe um método diferente para fazer a têmpera, em que se varia o tempo que o vidro é aquecido e o tempo que está no arrefecimento. À saída da têmpera há ainda uma zona de inspeção (c) onde se verifica se o vidro tem defeitos. Isto faz-se com a ajuda de uma placa na vertical com riscas brancas e pretas na diagonal. A chapa de vidro passa por baixo desta 'zebra' e olhando para

o reflexo dela no vidro consegue-se perceber se o vidro ficou com ondulações e outras imperfeições. O processo de têmpera do vidro é um processo que só se deve fazer depois de toda a transformação do vidro ser feita porque depois do vidro estar temperado é muito difícil ser alterado por causa da resistência e fragilidade que adquire.

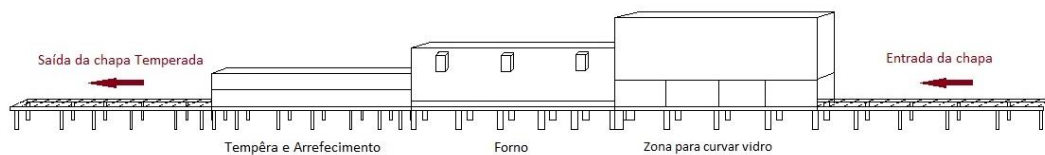


Figura 2-16 – Esquema completo do forno de têmpera

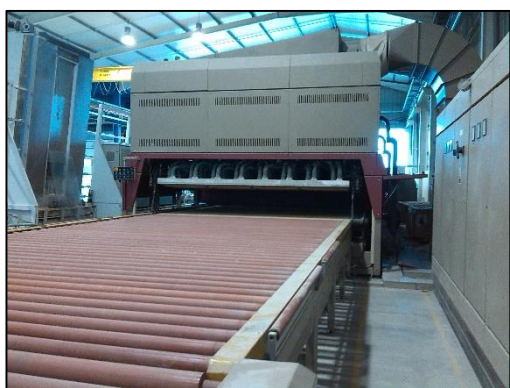
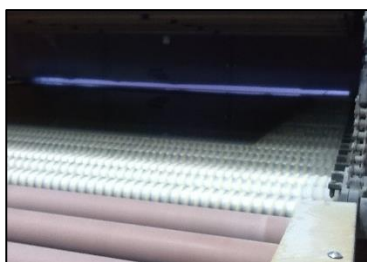


Figura 2-17 – Forno de têmpera

Etapas do processo de têmpera:

Entrada da chapa no forno



Têmpera do vidro



Inspeção de defeitos



Existe também uma estufa de **Pintura** na Vidromax, em que se utiliza uma máquina de pintura por impressão digital, aqui é possível fazer uma impressão diretamente no vidro de qualquer imagem que se



pretenda. Depois da impressão feita ou qualquer outro tipo de pintura, é sempre necessário fazer a têmpera ao vidro para que a pintura vitrifique ficando unida ao vidro de forma permanente.

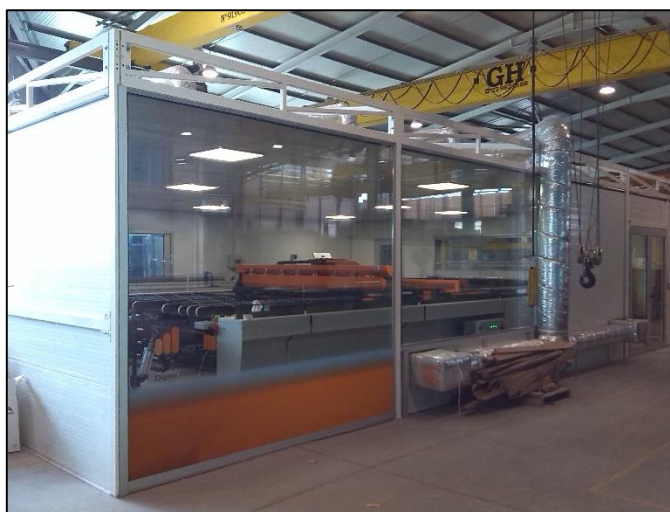


Figura 2-18 – Sala limpa de pintura

Por fim a **Linha Duplo** é onde se produzem os vidros duplos e triplos. Depois de os vidros serem transformados chegam a esta zona onde começam por ser lavados (a) e depois inspecionados (b). Se não existirem defeitos são então montados os vidros duplos ou triplos. A montagem inicia-se com a inspeção do primeiro vidro e a sua posterior passagem para uma plataforma que agarra o vidro com um sistema de sucção (c). Em seguida no segundo vidro cola-se o perfil intercalar em que anteriormente foi aplicado o butilo nas duas superfícies laterais (f). Este perfil vai-se localizar entre os dois vidros e tem a largura que o cliente pretender. Depois de colado o perfil o vidro desloca-se para a plataforma onde ficou o primeiro vidro. A máquina posiciona os dois vidros para que um fique debaixo do outro e em seguida junta-os e faz força neles para que fiquem ligados pelo butilo. Por fim, e apos os vidros estarem unidos, é aplicada a segunda selagem com um mecanismo robotizado (d) que faz a distribuição uniforme de um silicone em torno de todo o vidro.

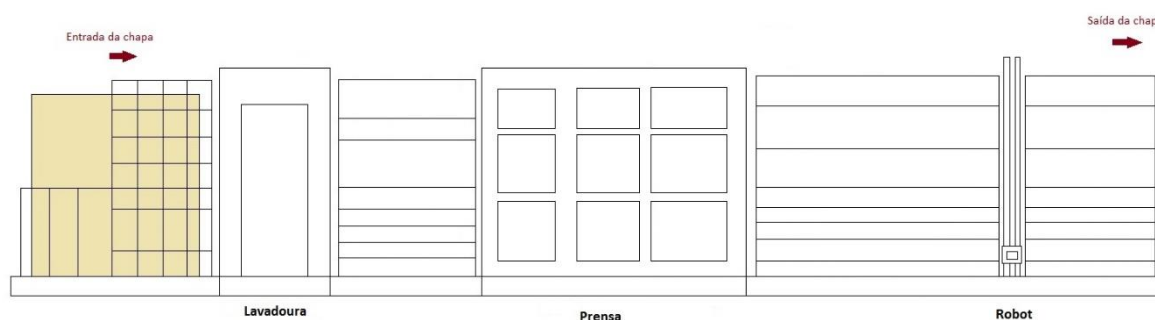


Figura 2-19 – Esquema completo da linha duplo



*Figura 2-20 – Linha duplo*

Componentes da linha duplo:



*a) Lavadora*



*b) Inspeção de qualidade*



*c) Prensa*



*d) Robot*



*e) Injeção de gás*



*f) Butiladora (em manutenção)*

*Figura 2-21 – Componentes da linha duplo*

A Vidromax fez ainda um investimento recente numa nova linha duplo que irá permitir fazer vidros de maior dimensão, o robot desta linha tem capacidade para colocar a segunda selagem em vidros curvos e ainda é possível fazer a injeção de gás automaticamente sem a necessidade de fazer orifícios nos perfis intercalares.



*Figura 2-22 - Nova linha duplo*

### 3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

#### 3.1. Plano de trabalhos

O conjunto de atividades não seguiu uma cronologia exata uma vez que muitas delas tinham um desenvolvimento contínuo. Portanto ao longo de todo o estágio foram-se aprofundando os desenvolvimentos e informações para cada atividade.

De uma forma geral o plano de trabalhos foi o seguinte:

- Observação do processo de fabrico da Vidromax;
- Criação de fichas de produto;
- Relatório de testes;
- Projeto de sistema de regulação de pressão nos vidros duplos;
- Testes.

#### 3.2. Atividades realizadas

##### 3.2.1. Observação do processo de fabrico na Vidromax

O objetivo da primeira semana de estágio consistia principalmente em ficar a perceber os métodos de trabalho na Vidromax e familiarizar-se com o tipo de maquinaria existente na indústria do vidro.

A observação começou por ser feita na zona de Corte. Aqui foi visível o automatismo que faz a recolha da chapa na zona de armazém de *stock* e a encaminha para as mesas de corte. Nessas mesas de corte os operadores têm acesso à informação de corte otimizado para a chapa que vai ser cortada e comanda a máquina para fazer o corte.

De seguida passou-se para o setor da têmpera. Aqui faz-se um tratamento térmico de têmpera ao vidro em que as chapas de vidro são aquecidas e arrefecidas de forma controlada. No forno o vidro é aquecido até aos 690°C, depois de estarem alguns segundos no seu interior são retiradas e vão para a zona de têmpera onde são arrefecidas rapidamente.

Também na zona de têmpera existe uma máquina de aresta que permite fazer a aresta roçada nos quatro lados do vidro. Esta máquina permite arestar vidros de grandes dimensões de forma automática.

Na zona da transformação observou-se a execução de aresta polida na máquina de arestas bilateral. Também há nesta zona uma máquina retilínea que faz apenas uma aresta de cada vez, normalmente é utilizada para vidros que não apresentam geometria quadrangular. Há ainda uma máquina de furos automática e uma manual.

Também se observou a zona da transformação onde se observou a produção da aresta e de furos em vidros.

Por fim observou-se a zona de duplo. Aqui faz-se a verificação da qualidade dos vidros e em seguida faz-se a montagem dos vidros duplos e triplos.

### **3.2.2.Fichas de produto**

As fichas de produto foram criadas para acompanharem as chapas de vidro utilizadas para testes ao longo de todo o processo de produção de vidro duplo e triplo. Cada chapa usada tem a sua ficha correspondente.

O conjunto de testes a que as chapas de vidro foram sujeitas consistiu na produção da aresta, processo de têmpera, testes de combinações, testes de primeira e segunda selagem, testes de redução de selagem e testes de utilização de argon. O desempenho de cada vidro em cada um dos testes fica registado na sua ficha.

Exemplos destas fichas podem ser consultados no Anexo 1.

### **3.2.3.Relatórios de teste**

Para manter o registo dos resultados dos testes realizados ao longo do projeto foi necessária a realização de relatórios com a descrição dos testes e os seus resultados. Estes testes já tinham sido realizados pela empresa, pelo que apenas foi necessário fazer o seu registo.

Os testes realizados foram os seguintes:

- Testes de aresta e têmpera em vidro monolítico;
- Testes de aresta em vidro laminado;
- Testes de combinação de vidros;
- Testes de 1ª selagem;
- Testes de 2ª selagem;
- Testes de redução de selagem;
- Testes de utilização de argon.

### **3.2.4.Projeto de sistema de regulação de pressão nos vidros duplos**

Neste projeto tem-se o objetivo de se fazer o ajuste de pressão da câmara-de-ar do interior de vidros duplos e triplos. Para isto decidiu-se que a melhor solução seria incorporar uma válvula no *topping* que se utiliza para fazer a união entre dois perfis intercalares. Para a realização desta atividade teve de se pesquisar soluções já existentes, válvulas que poderiam ser utilizadas e outros mecanismos que também poderiam ser adaptados para o fim pretendido.

Foram modelados e imprimidos desenhados de *topping* em 3D para se tentar chegar a um modelo final que satisfaze-se todos os requisitos. Foi um processo em que foram necessárias várias tentativas e modificações aos modelos criados.

O desenvolvimento de desenhos e modelos tridimensionais neste projeto serão feitos utilizando o *software* SolidWorks da empresa Dassault Systèmes. Este *software* foi lecionada no primeiro ano do Mestrado de Engenharia Mecânica na disciplina de Cálculo Automático de Sistemas Mecânicos.



Figura 3-1 – Programa utilizado para desenho 3D

### 3.2.5. Testes

Ao longo do projeto houve a necessidade de se fazer vários testes em diversas áreas.

Para verificar as dimensões máximas recomendadas para os vidros duplos e triplos, e a espessura mínima necessária para a segunda selagem dos vidros pediu-se à empresa SIKA que realizasse estes testes e que partilha-se as conclusões encontradas.

Para atestar a resistência que as selagens conferem aos vidros duplos e triplos realizaram-se ensaios de tração para determinar a carga máxima que suportam. Estes testes foram realizados no Departamento de Engenharia Mecânica do ISEC e como não existe uma forma normalizada para realizar estes testes foi necessário desenvolver os provetes de teste e também adaptadores para se poder transmitir os esforços do equipamento de ensaios ao provete.

Outros testes que se realizaram foram os de montagem de vidros duplos. Aqui verificou-se a eficácia dos modelos de *toppings* desenvolvidos construindo vidros duplos em que se utilizavam esses modelos e em seguida verificava-se se a válvula utilizada assegurava a estanquicidade do vidro.

## 4. RELATÓRIO DE TESTES

Desde o início deste projeto que a empresa Vidromax realizou uma série de testes a chapas de vidro a fim de verificar se o processo industrial praticado pela empresa de adequava à produção de vidros duplos e triplos de grandes dimensões. Estes testes realizaram-se antes do início deste estágio, por isso à data

do seu início já havia o registo dos resultados destes testes, restava então fazer a sua análise e documentação. Esta documentação passava pela criação do correspondente relatório do teste em que se fazia a descrição do procedimento do teste e registava os resultados gerais dos testes. Neste ponto apenas será descrito o procedimento para cada teste e no final será apresentado um quadro resumo com os resultados. Os dados dos diferentes testes serão apresentados no anexo 2.

#### **4.1. Testes de aresta e têmpera em vidro monolítico**

Estes testes serviriam para verificar quais os tipos de vidro que suportariam a produção da aresta e o tratamento de têmpera para chapas de grandes dimensões (6000mm x 3000mm).

O teste de aresta consistia em utilizar os vários tipos de vidro disponíveis e executar a aresta registando o comportamento dos vidros. Para a realização da aresta as chapas são introduzidas na linha do processo de aresta.

O teste de têmpera consistia em realizar a têmpera dos vários tipos de vidro e registar o seu comportamento.

#### **4.2. Teste de aresta em vidro laminado**

Este teste é semelhante ao teste de aresta do vidro monolítico apenas sendo diferente o tipo de vidro utilizado. Neste tipo de vidro não é possível fazer-se têmpera por isso não se fizeram esses testes.

#### **4.3. Teste de combinação de vidro e perfil**

Com este teste pretende-se verificar quais as melhores relações de dimensões entre a caixa de perfil e a espessura do vidro. Para se selecionarem as composições mais eficazes deve-se ter em conta fatores como o equilíbrio da distribuição da massa do conjunto dos vidros, a segurança que as características do vidro conferem à composição e propriedades térmicas que cada vidro tem. Quando um vidro duplo ou triplo fica desequilibrado, o caixilho da janela sofrerá cargas excessivas num dos lados o que pode levar ao mau funcionamento do sistema de abertura da janela e por isso se deve evitar que isto aconteça. Neste caso o fator determinante será apenas a relação das espessuras dos vidros e não as suas diferentes características. Para realizar este teste faz-se uso da linha duplo e do seu conjunto de máquinas.

Utilizaram-se perfis intercalares de 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 27mm para os vidros duplos e perfis de 10,12,14, e 16mm e vários tipos de vidro.

#### **4.4. Testes de 1ª e 2ª selagem**

Nestes testes pretende-se estudar o processo de montagem do vidro duplo e triplo e verificar se os vidros de grandes dimensões são capazes de manter a sua integridade após a sua montagem.

No teste à 1ª selagem, os vidros duplos e triplos serão montados na linha duplo seguindo os procedimentos normais, mas apenas será aplicada a 1ª selagem. Depois de aplicada a selagem será verificado se os vidros se mantêm colados. A primeira selagem será realizada com o SikaGlaze IG-5 PIB, um selante monocomponente, termoplástico à base de poliisobutileno (PIB, butilo). Este selante é



aplicado por butiladoras que fazem a distribuição uniforme do butilo ao longo das laterais do perfil intercalar que é colocado entre os dois vidros.

No teste à 2ª selagem os vidros serão produzidos pelos processos normais na linha duplo. Depois da sua montagem será verificada se há tendência para os vidros se separarem. A primeira selagem será novamente realizada pelo SikaGlaze IG-5 PIB e a segunda selagem será realizada por silicones bicomponentes de cura neutra adequado para a selagem de vidros isolantes, ou com Sikasil IG-25 ou com Sikasil IG-25 HM Plus. Isto dependerá do facto do vidro levar ou não gás de enchimento. Nos casos em que se utilizará o gás de enchimento o silicone utilizado será o Sikasil IG-25 HM Plus. Estes silicones são aplicados por uma máquina automatizada que os aplica no espaço entre as duas chapas de vidro assegurando uma distribuição uniforme.

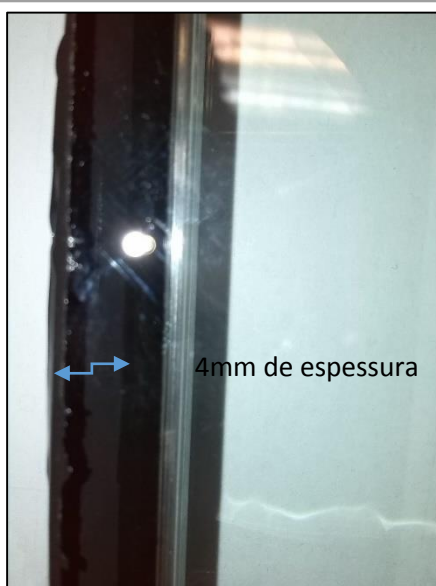


*Figura 4-1 – Exemplo de teste de 1ª e 2ª selagem*

#### **4.5. Testes de redução de selagem**

Este conjunto de testes servirá para verificar se a redução da segunda selagem permite garantir a estanquicidade e a resistência estrutural das janelas de vidros duplos e triplos.

A espessura da selagem será reduzida de 7mm para 4mm. Os vidros serão montados no processo de duplagem normal mas o espaço entre os bordos dos vidros e topo dos perfis intercalares será reduzido. Depois da montagem do vidro, será verificada a capacidade de manter a sua integridade sem que haja a ocorrência de separação.



#### 4.6. Testes de utilização de argon

Com este teste pretende-se verificar se a utilização do gás argon é compatível com o processo industrial e se depois de produzidos os vidros estes se mantêm estanques e sem separação. Este teste irá decorrer na linha duplo onde já se faz a injeção de argon em vidros duplos e triplos.

Nos vidros em que a câmara-de-ar é preenchida com o gás argon, a sua injeção para o interior da camara é feita depois dos vidros saírem da prensa e antes da aplicação da segunda selagem. Para que seja possível fazer a injeção do argon é necessário que um dos perfis intercalares laterais tenha dois orifícios, um na parte superior e outro na parte inferior. Nestes orifícios são introduzidas agulhas que farão a injeção do gás. O equipamento responsável pela injeção do gás também monitoriza a pressão existente no interior da câmara. Depois de concluída a injeção os orifícios são tapados com tampas plásticas e em seguida aplica-se a segunda selagem concluindo assim o processo. Na segunda selagem quando se utiliza argon o silicone utilizado é diferente. Neste caso o silicone que se deve utilizar é o Sikasil IG-25 HM Plus que é especialmente formulado para ser utilizado em vidros em que o gás de enchimento é o argon.

#### 4.7. Quadros resumo e resultados

Código	Chapas Utilizadas	Têmpera		Aresta		Combinações	1ª Selagem	2ª Selagem	Redução	Árgon
		✓	✗	✓	✗					
F 4	14	1	9	1	3					
F 5	33	5	23	3	2					
F 6	131	41	59	18	13	18	0	18	1	4
F 8	70	45	20	3	2	45	14	31	5	14
F10	56	38	12	6	0	44	20	24	7	15
F12	16	12	2	2	0	11	8	3	1	2
FU 4	8	1	7							
FU 6	10	6	4							
FU 8	15	10	3	2	0	12	5	7	1	3
FU10	12	8	2	2	0	9	5	4	0	2
FU12	4	3	1			3	3	0	0	0
CP 4	5			1	4					
CP 6	10			4	6					
CP 8	1			1	0	1	1	0	0	0



CPT10	5	3	2			3	2	1	0	1
CPT 6	15	5	10							
CPT 8	13	10	3			10	7	3	0	1
ST 6	9	3	5	1	0	1	0	1	0	1
ST 8	28	17	9	1	1	18	9	9	1	1
HS 6	1	0	1							
HS 8	6	4	2			4	2	2	2	0
HS10	1	1	0			1	0	1	0	0
HS 8 70-41	2	1	1			1	1	0	0	0
HS10 70-41	1	1	0			1	0	1	0	1
SN 8	11	4	3	3	1	4	1	3	1	0
GS 6	5	1	4							
L 6	8			1	7					
L 6 TR	2			0	2					
L 8	41			21	20	21	10	11	0	4
LUC 8	3			1	2	1	0	1	0	0
L10	8			5	3	5	3	2	1	0
L10 R	1			1	0	1	1	0	1	0
LU10	1			0	1					
LU12	13			4	9	4	2	2	0	2
LU12.2	3			2	1	2	0	2	1	0
L12	8			6	2	6	2	4	0	1
L12 TR	2			2	0	2	0	2	0	1
L16	1			0	1					
CPL10	4			0	4					
CPL12	4			0	4					
L 6 SSG	1			0	1					
TOTAIS	582	220	182	91	89	228	96	132	22	53
TAXA DE SUCESSO		55%		51%						

Os vidros com 6000mmx3210mm que melhor suportam o tratamento de têmpera são os vidros com uma espessura de 8mm, 10mm e 12mm, estas espessuras também são as que melhor se comportam na execução da aresta tanto para vidros laminados como monolíticos.

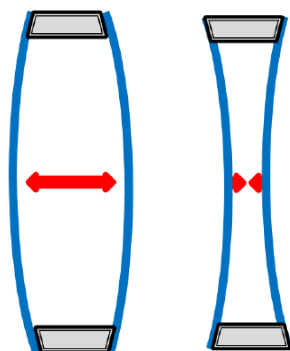
Em relação à combinação vidro-perfil, nos vidros duplos qualquer largura de perfil é satisfatória mas os perfis mais rentáveis são os de 20 e 22mm. Nos vidros triplos cada perfil tem uma espessura de vidros preferível. Nos perfis de 10mm as espessuras dos vidros devem ser 12mm/10mm/12mm, para perfis 12mm são todos de 10mm, para perfis de 14mm os vidros devem ser de 10mm/8mm/8mm e para 16mm são 8mm/6mm/8mm. Pode-se ainda optar por utilizar perfis de largura diferente por exemplo um perfil de 14 com um perfil de 16mm em que a espessura de vidros mais favorável é 8mm/8mm/8mm.

Em relação às selagens, a primeira selagem deve ser o butilo SikaGlaze IG-5 PIB e na segunda selagem ou o Sikasil IG-25 ou o Sikasil IG-25 HM Plus. Estas selagens tiveram bons resultados nos testes à 1ª e 2ª selagem assim como na redução de selagem e na retenção de gás argon.

## 5. REGULAÇÃO DA PRESSÃO NO INTERIOR DO VIDRO DUPLO

A decisão de criar um sistema que permita fazer o ajuste da pressão no interior das câmaras-de-ar dos vidros duplos e triplos surge para fazer face a alguns problemas que ocorrem ocasionalmente nos vidros produzidos nesta unidade fabril. Estes problemas são: deformações nos vidros (vidros ‘inchados’) e o aparecimento de riscos no interior dos vidros. Uma das causas deste problema é a diferença da pressão atmosférica do local onde os vidros são produzidos e o local onde eles vão ser instalados. Quando um

vidro duplo ou triplo é produzido numa zona que está à altitude do nível do mar, por exemplo, o ar que fica no interior do vidro tem essa mesma pressão. Se este vidro for posteriormente instalado numa zona montanhosa, por exemplo, a pressão atmosférica será menor que a pressão ao nível do mar e a diferença de pressões entre o interior do vidro e o exterior fará com que o ar preso no seu interior expanda e exerça pressão no vidro criando uma convexidade (ou ‘barriga’). Isto para além de criar reflexos distorcidos no vidro pode ainda levar ao mau funcionamento do sistema de janela. As variações de temperatura e variações de pressão atmosférica também podem provocar este fenómeno mas o caso referido anteriormente é o mais evidente. O aumento da pressão no interior do vidro duplo também traz vantagens no transporte de vidros de grande dimensão, uma vez que aumentando a pressão evita-se o choque entre os vidros da composição nas faces interiores do vidro.



As mais recentes tendências de *design* e arquitetura ditam que as superfícies vidradas devem ser de grandes dimensões e não devem ter nenhum obstáculo à visibilidade. Por essa razão se decidiu que o mecanismo que permitiria o ajuste da pressão do interior da janela teria de estar oculto e não perturbar a visibilidade. Então concluiu-se que a melhor solução seria incorporar o mecanismo no interior dos *toppings*. *Topping* é uma peça normalmente de material polímero que serve para fazer a união entre os perfis intercalares na zona onde eles formam um canto.

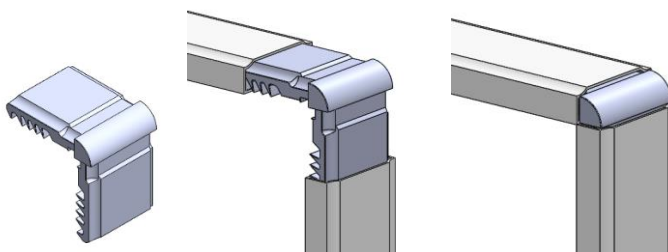


Figura 5-1 – Topping comum

## 5.1. Soluções existentes

Para este problema já existem algumas soluções no mercado. Entre os quais destacam-se os seguintes:

### 5.1.1. Topping com furo temporário

Esta solução é a que é aplicada atualmente na Vidromax. Consiste na utilização de um *topping* com um furo e com uma tampa. O vidro é produzido normalmente apenas substituindo um dos *toppings* normais por um igual ao da imagem. O furo que se vê tapado por uma tampa. Esta tampa é retirada na instalação do vidro o que permite a comunicação entre a câmara-de-ar no interior do vidro com o exterior

permitindo que a pressão da câmara equilibre. Depois da pressão se equilibrar o furo que ficou visível é tapado com butilo ou silicone. Esta não é a melhor solução.



Figura 5-2 – Topping com furo temporário

### 5.1.2. Tubos capilares

São pequenos tubos normalmente em aço inoxidável ou alumínio com diâmetro interior entre 0,254mm e 0,508mm e comprimento típico de 300mm. Estes tubos podem ser deixados abertos depois da instalação do vidro para permitir o ajuste de pressão no interior da janela quando há variações de temperatura. O comprimento do tubo deve ser grande para impedir que a humidade chegue ao interior da janela (a relação diâmetro/comprimento/humidade do ar é que determina se há passagem de humidade). Deve-se ter em conta que o ritmo de equalização de pressão é lento e depende de muitos fatores.

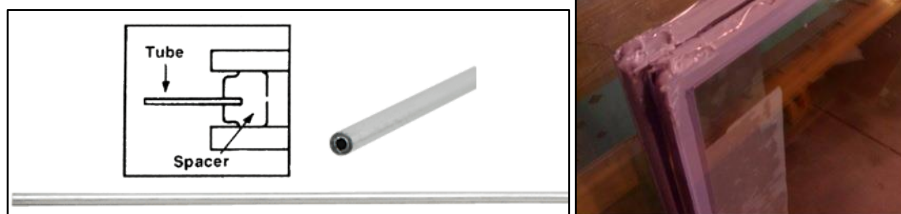


Figura 5-3 – Tubo capilar

### 5.1.3. VisionWALL

A empresa VisionWALL criou uma solução que consiste na utilização de uma membrana transparente e flexível entre os dois vidros. Formam-se então duas zonas de ar no interior da janela. Num dos lados o ar fica estanque não havendo trocas com o exterior. No outro existe um tubo capilar que comunica com o exterior. Ao variar a pressão no interior, o ar estagnado pode expandir ou contrair fazendo com que a membrana se mova. Ao mover-se vai fazer pressão na zona que faz ligação ao exterior, fazendo com que haja trocas de ar. [6]

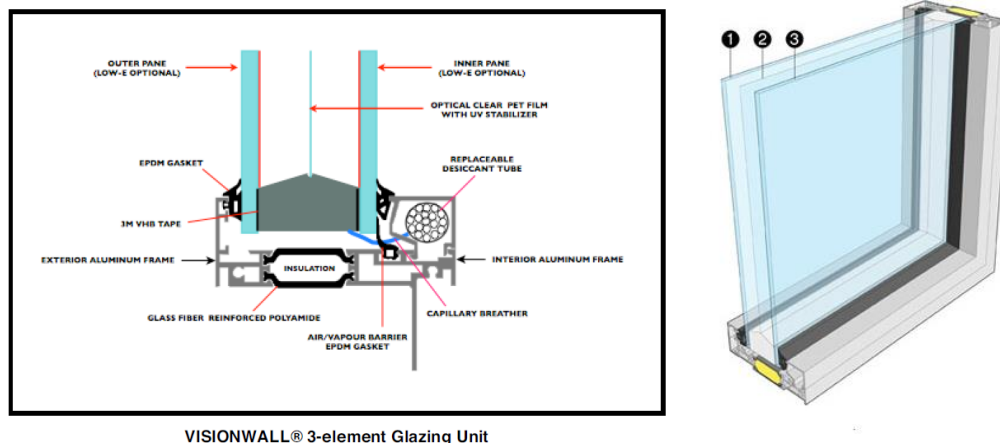


Figura 5-4 – VisionWALL

#### 5.1.4. Two Way Valve

Esta solução criada pela AL7 Meipa Srl, tenta resolver os efeitos negativos da variação de temperatura e de pressão. A válvula é inserida no perfil intercalar através de um furo de 6mm, depois da selagem do vidro a válvula passa a fazer parte da janela. Normalmente a válvula está fechada mas quando o diferencial de pressão entre o interior e o exterior excede os 80 milibares a válvula abre permitindo o ajuste de pressão.

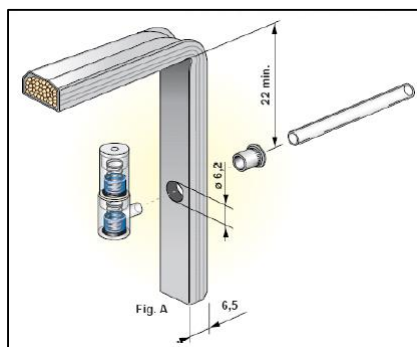


Figura 5-5 – Two Way Valve

#### 5.1.5. Algumas soluções de fabrico

Em alternativa às soluções anteriores é possível fazer algumas alterações no processo de fabrico para tentar atenuar os efeitos da pressão do ar. Algumas das quais são as seguintes:

1. Criar uma zona na fábrica onde seja possível controlar a pressão do ar e produzir os vidros duplos à pressão do local onde vão ser instalados.
2. Aquecer os vidros aquando da produção.
3. Aplicar pressão no vidro para o deformar ligeiramente aquando da produção.
4. Retirar ar ou gás do vidro até chegar à pressão desejada.

## 5.2. Soluções estudadas

Neste projeto tem-se o objetivo de se fazer o ajuste de pressão da câmara-de-ar do interior de vidros duplos e triplos. Para isto decidiu-se que a melhor solução seria incorporar uma válvula num *topping*.

### 5.2.1. Seleção de válvulas

No início do projeto, após alguma pesquisa decidiu-se utilizar as válvulas conhecidas como Schrader e Presta para iniciar o desenvolvimento do projeto. Por serem de menor diâmetro, as válvulas Presta foram as utilizadas para basear os protótipos iniciais. Também se teve em consideração utilizar apenas o núcleo da válvula Schrader e da válvula Presta.



Figura 5-6 – Núcleos e válvulas Presta e Schrader

No entanto com o avançar do projeto e depois de alguns testes de montagem, verificou-se que as válvulas deveriam ser ainda menores. Aprofundando-se a pesquisa descobriu-se uma válvula em particular bastante interessante. Uma válvula do fabricante Schrader International designada de ‘short valve core’ e referência 42970-00. Esta é a válvula que será utilizada no modelo final.

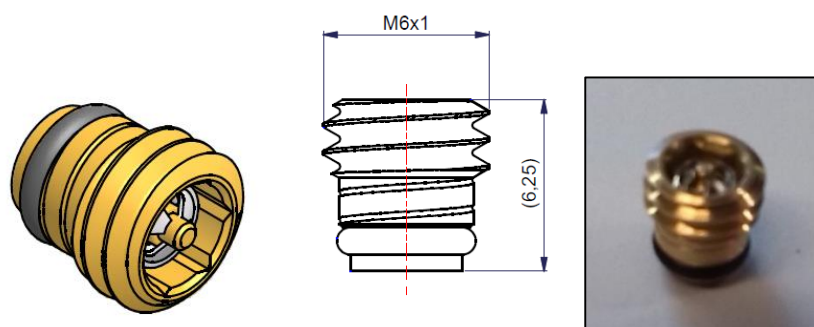


Figura 5-7 – Válvula 42970-00

### 5.2.2. Ferramenta para a válvula

A válvula selecionada não é uma válvula normalizada e apenas está disponível por encomenda, por essa razão não existem no mercado os correspondentes mecanismo de abertura e de aperto da válvula. Foi então necessário criar esses mecanismos a partir de informações dadas pelo fabricante da válvula. Criaram-se então ferramentas que servirão para fazer o aperto da válvula no *topping* e para fazer a injeção do ar ou gás para o interior da câmara-de-ar do vidro duplo ou triplo.

Seguindo as indicações da marca (anexo 3) projetou-se uma ferramenta de fabrico e utilização simples. Como na Vidromax não há a possibilidade de produzir esta ferramenta, a sua execução ficou à responsabilidade da MACOTÉCNICA, uma empresa do ramo da metalomecânica.

Foram projetados vários modelos para a ferramenta baseados nas informações fornecidas pela *Schrader*.

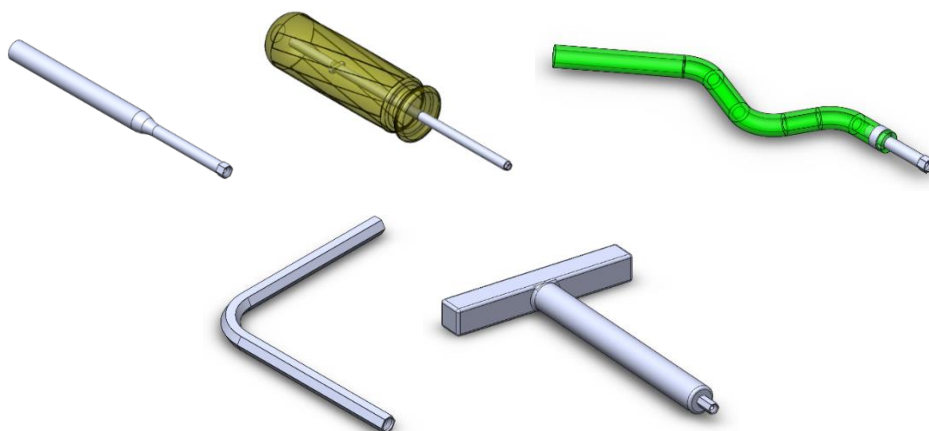


Figura 5-8 – Modelos de ferramenta

O modelo que se decidiu produzir é o que tem o formato de T (anexo 4). Este modelo tem o objetivo de permitir o aperto fácil da válvula e ao mesmo tempo, quando necessário permitir a injeção de gás através de válvula. Mais tarde depois da ferramenta ser produzida e de se fazerem alguns testes percebeu-se que a ferramenta não dava abertura suficiente à válvula e a injeção de gás apesar de ser possível não era eficaz.

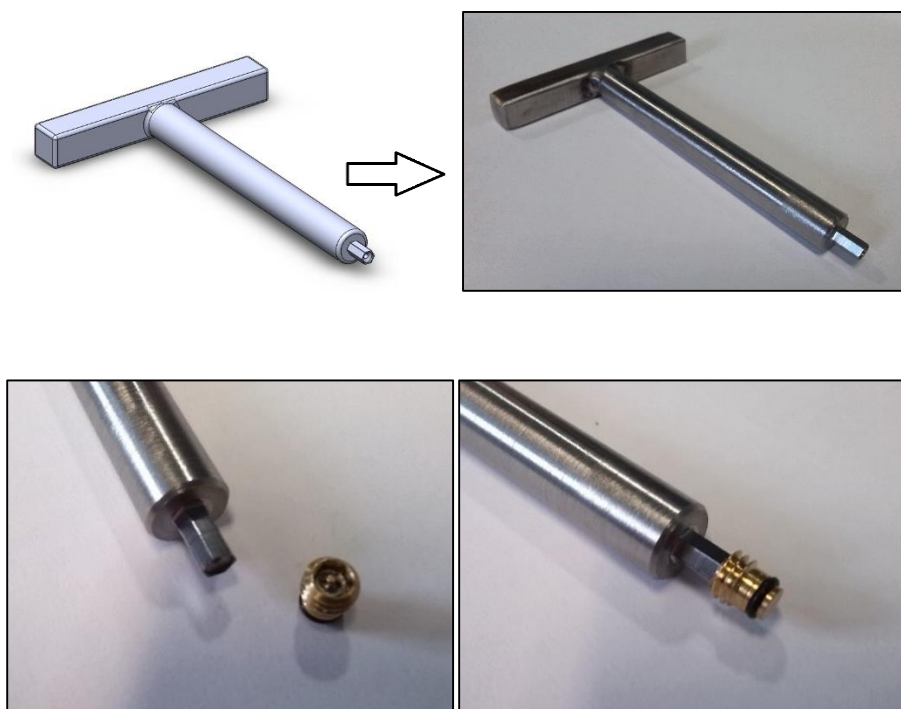




Figura 5-9 – Ferramenta produzida

### 5.2.3. Inserções para moldes de injeção de plástico

A dada altura do projeto, contactaram-se empresas de injeção de plástico para que contribuíssem com a sua opinião acerca dos modelos criados. A Empresa TECMOLDE disponibilizou-se para isto e após uma breve análise a alguns modelos sugeriu que para os modelos onde se utilizam roscas, estas fossem substituídas por inserções.

Inserções são corpos metálicos que se destinam a ser inseridos nos moldes de injeção de plástico. Em vez do molde ser maquinado para que o formato final das peças de plástico tenha superfícies roscadas (o que encarece o molde), esta rosca vem na inserção que é apenas inserida no molde e quando se dá a injeção do plástico fica parte integrante da peça final. Há ainda a possibilidade de utilizar inserções que se inserem na peça após a sua produção através de calor, pressão ou ultrassons. As inserções que se tiveram em consideração foram as seguintes:

<b>Inserção do tipo Self-Tapping:</b> esta inserção é enroscada na peça depois de ela ser produzida, e por sua vez tem no seu interior a rosca com as dimensões que se pretendem.	<b>Inserção do tipo Molded-In:</b> neste caso a inserção fica no interior do molde e quando o plástico é injetado ela fica a fazer parte da peça.
	

No entanto com o avançar do projeto a ideia de se utilizarem inserções teve de ser abandonada pois não havia espaço suficiente dentro dos *toppings* para as colocar.

### 5.2.4. Modelos criados

Para se iniciar o desenvolvimento do projeto decidiu-se fazer o modelo 3D de um *topping* já existente e ir fazendo alterações até se chegar a um modelo que desempenhasse as funções que lhe eram pedidas satisfazendo as restrições impostas.

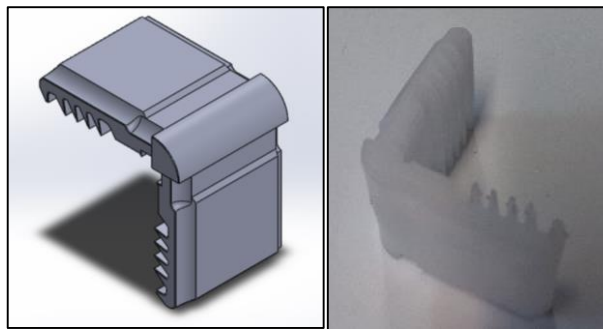
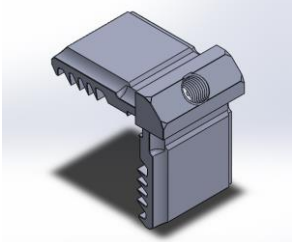
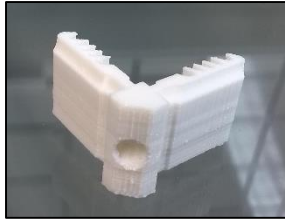
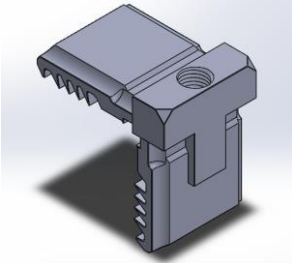
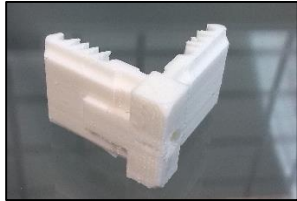
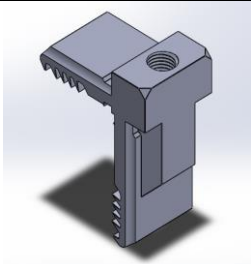
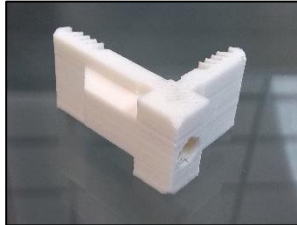
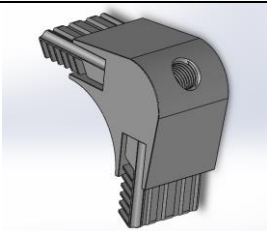
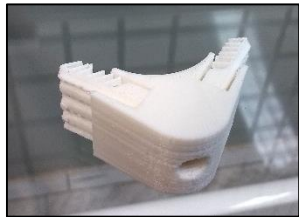
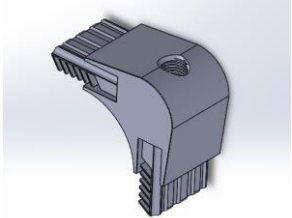
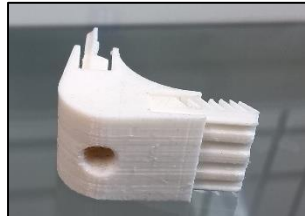
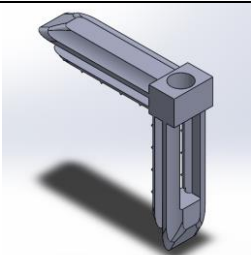
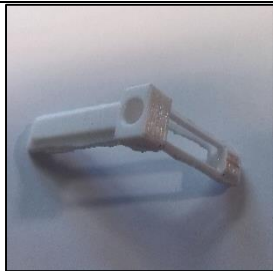
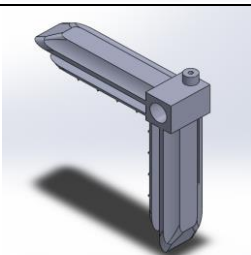
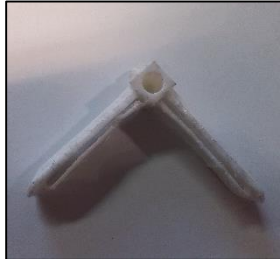
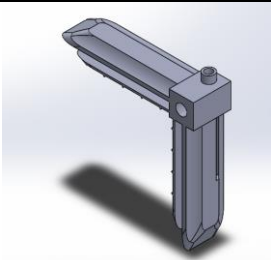

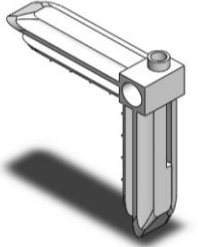

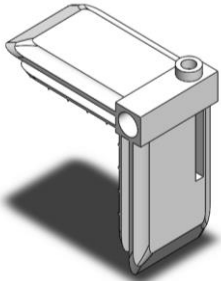
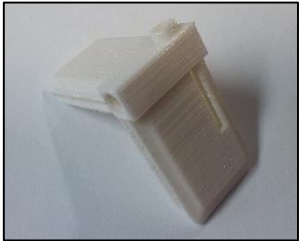
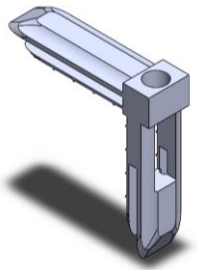

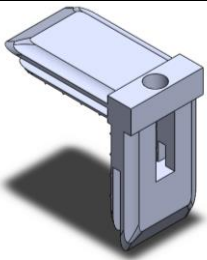
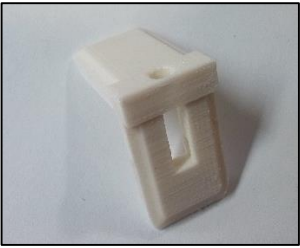
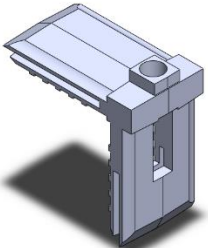



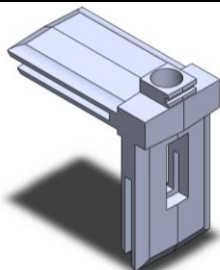

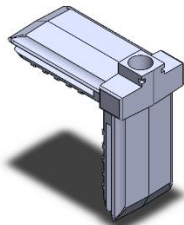
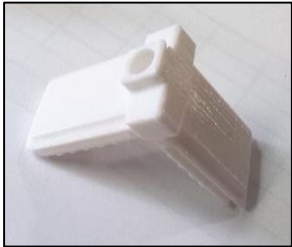
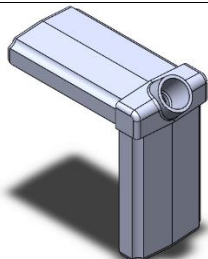
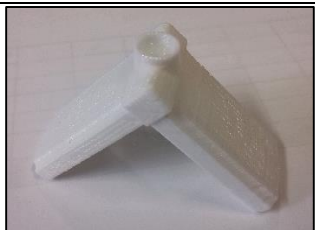
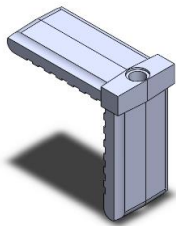

Figura 5-10 – Topping utilizado na empresa



	Modelo 3D	Protótipo
<b>Modelo 1</b>		
<b>Modelo 2</b>		
<b>Modelo 3</b>		
<b>Modelo 4</b>		
<b>Modelo 5</b>		
<b>Modelo 6</b>		
<b>Modelo 7</b>		



<b>Modelo 8</b>		
<b>Modelo 9</b>		
<b>Modelo 10</b>		
<b>Modelo 11</b>		
<b>Modelo 12</b>		
<b>Modelo 13</b>		

<b>Modelo 14</b>		
<b>Modelo 15</b>		
<b>Modelo 16</b>		
<b>Modelo 17</b>		

### Modelo 1



Figura 5-11 – Modelo 1

Este modelo permite a inserção da válvula na diagonal fazendo a injeção de ar ou gás diretamente na câmara-de-ar entre os dois vidros.

Aqui há o inconveniente de ser necessário furar os perfis nos cantos para haver circulação de ar. Por essa razão, este modelo foi descartado porque os furos seriam visíveis e havia ainda a possibilidade de uma pequena porção da válvula ficar visível no canto do perfil.

Um dos fatores mais importantes deste projeto é a ausência de qualquer perturbação no aspeto visual da janela.

### Modelo 2



Figura 5-12 – Modelo 2

Neste modelo optou-se por utilizar apenas o núcleo da válvula Schrader. Apesar do núcleo d válvula ser pequeno, foi necessário aumentar o volume do *topping* para ele poder acomodar o núcleo na posição vertical. Com isto seria necessário criar um pequeno entalhe retangular na parte exterior do perfil. Aqui a injeção do ar ou gás seria pelo interior do perfil.

Apesar do material adicionado ao *topping* este era demasiado frágil havendo a necessidade de adicionar mais material para o tornar mais resistente. Portanto também este modelo foi descartado.

### Modelo 3



Figura 5-13 – Modelo 3

Para que o *topping* possa acomodar o corpo completo da válvula Presta na vertical é necessário que este tenha um maior volume. Com este modelo criou-se um volume que fica no exterior do perfil, obrigando a que se faça uma grande entalhe, e a admissão dos gases será feita pelo interior do perfil mais uma vez.

Este modelo é interessante pois permite um acesso fácil à válvula, não invade a câmara-de-ar no interior do vidro e resolve o problema de robustez do modelo anterior. Este modelo dava boas indicações para o que se pretendia neste projeto.

### Modelo 4



Figura 5-14 – Modelo 4

Com este modelo pretende-se dar um aspeto diferente aos *topping*'s e também dar-lhe um maior volume uma vez que o orifício para acomodar a válvula é de grandes dimensões quando comparado com o tamanho do *topping* propriamente dito. Assim dá-se maior resistência ao *topping* e uma área de aperto das roscas maior. Como a válvula fica na diagonal a injeção dos gases é diretamente na câmara-de-ar.

### Modelo 5



Figura 5-15 – Modelo 5

Este modelo é semelhante ao anterior mas a válvula é colocada numa posição vertical. Assim a entrada de ar é feita pelo perfil.

Apesar das vantagens que o modelo 4 e 5 trazem em relação à robustez do *topping*, eles invadem o campo visível da janela o que anula as suas vantagens tornando-os pouco interessantes.

### Modelo 6

Aqui a válvula é inserida diretamente no molde e em seguida o plástico fosse injetado tornando-a parte integrante da peça. Então o furo visível na parte superior da peça representa o espaço que a válvula ocuparia. O espaço vazio imediatamente abaixo do furo é assim para facilitar a injeção do ar através da válvula. A dimensão desta abertura esta exagerada porque nesta altura ainda não estava definida qual a válvula a ser utilizada.



Figura 5-16 – Modelo 6

### Modelos 7 e 8

Estes modelos resultam da tentativa de criar uma solução diferente e inovadora. Em vez de se utilizar válvulas já existentes, com estas soluções criar-se-ia uma válvula no interior do *topping*. A imagem abaixo demonstra as cavidades que o *topping* precisa de ter para concretizar a incorporação da válvula.

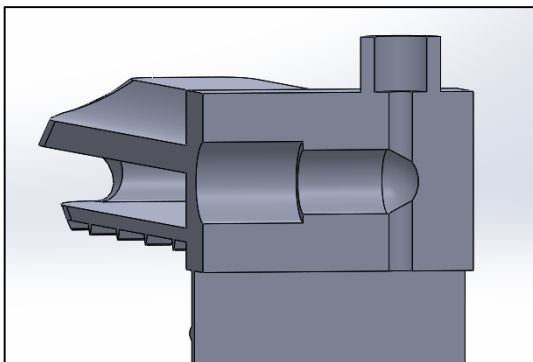
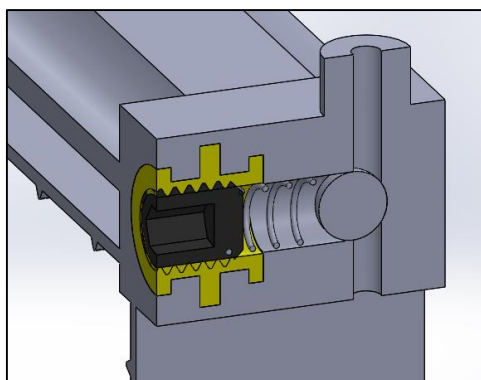


Figura 5-17 – Vista em corte do modelo 7

O mecanismo da válvula fica completo com a utilização de uma esfera, um parafuso perno e uma mola. A imagem que se segue foi criada apenas para visualização. É um *topping* de 10mm e contém uma inserção do tipo Molde-In.



A inserção que se vê a amarelo na imagem é inserida na peça logo na produção. Depois da produção basta inserir uma esfera no orifício lateral, em seguida uma mola e por fim um parafuso que se enrosca na inserção da peça. Ao se apertar o parafuso este exerce força na mola que por sua vez vai empurrar a esfera contra o fundo do orifício. Como este tem as mesmas dimensões que a esfera o canal vertical fica fechado ficando assim o interior da janela estanque. Para fazer a injeção ou extração de ar para o interior da janela inseria-se uma agulha no canal vertical do *topping* e fazendo algum esforço a esfera deslizaria permitindo a passagem da agulha que por sua vez fará o ajuste de pressão necessário no interior da janela.

Para o modelo 7, foi pensado utilizar uma inserção *Self-Tapping* para uma rosca M3, no entanto não se conseguiu encontrar esta inserção e não foi possível fazer a sua montagem completa.

O modelo 8 foi criado para estudar a possibilidade de utilizarem parafusos auto-roscentes. Neste caso não existem roscas nem inserções, em vez disso na peça apenas são criados furos e depois será o próprio parafuso a fazer a sua própria rosca. Neste caso, para o tipo de polímero usado nas impressões 3D conseguiu-se o efeito de auto-roscagem mas será necessário verificar se isto também é possível noutros plásticos.



Figura 5-18 – Modelo 8

A fim de fazer uma apresentação a uma empresa de moldes para injeção de plástico decidiu-se fazer mais quatro modelos com poucas diferenças para os anteriores. No entanto abandonou-se a ideia de utilizar inserções e zonas roscadas em detrimento da utilização de parafusos auto-roscantes e da utilização de válvulas embutidas diretamente no molde.

### Modelo 9

Este modelo foi projetado para que no seu interior seja introduzida uma esfera com 4mm de diâmetro e uma mola com o diâmetro exterior no máximo de 4mm. Parafuso que fará força na mola será um auto-roscante de diâmetro M5. O furo na zona superior terá 1,5mm de diâmetro e destina-se a possibilitar a introdução de uma agulha para fazer a injeção do gás. O revelo visível na zona do furo destina a acomodar um parafuso M3 que servirá de tampa. Este modelo tem 10mm de profundidade.

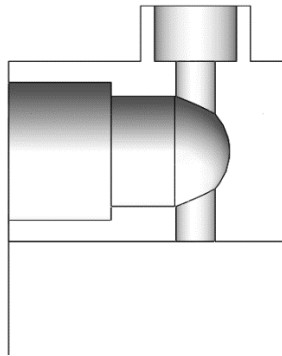


Figura 5-19 – Modelo 9

Mecanismo de válvula:

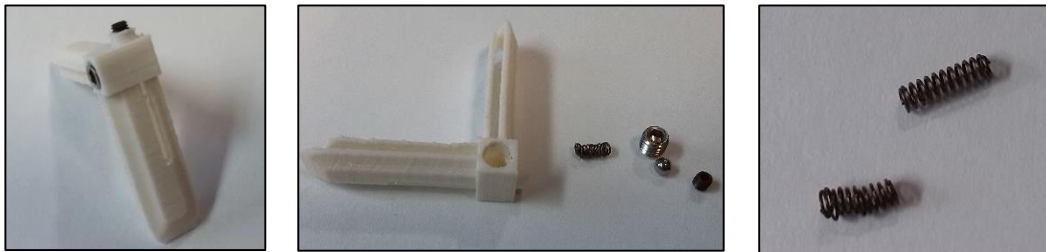


Figura 5-20 – Componentes do modelo 9

Para este modelo verificou-se que a sua pequena profundidade, 10mm, dificulta a utilização do mecanismo de válvula levando mesmo à destruição da mola usada. Para resolver este problema deveria-se optar por utilizar um parafuso M5 mais curto e uma mola de menor comprimento.

### Modelo 10

Este modelo é igual ao modelo 9 mas tem 20mm de profundidade.



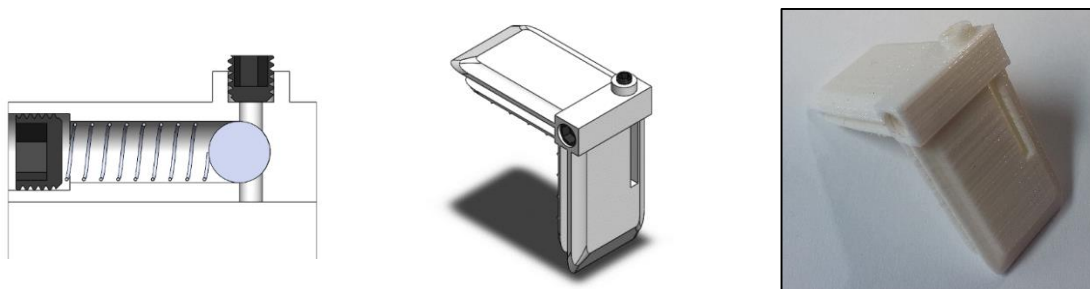


Figura 5-21 -- Vistas do modelo 10

Mecanismo de válvula:



Neste modelo o mecanismo de válvula funcionou eficazmente. No entanto não foi possível verificar a sua estanquicidade uma vez que nos modelos imprimidos existe alguma rugosidade nas superfícies. Assim o furo de 4mm que se destinava a uma esfera de 4mm de diâmetro apresentava um diâmetro menor que o esperado e então teve de se utilizar uma esfera de menor diâmetro. Isto impossibilitou um encaixe perfeito entre a superfície e a esfera, não havendo estanquicidade. Para verificar se a mola opera em boas condições utilizou-se um alfinete de costura comum. Ao introduzir o alfinete pelo orifício superior e exercendo alguma força este faz deslocar a esfera comprimindo a mola o que depois permitiria a injeção de ar ou gás para o interior da câmara-de-ar. Depois de retirado o alfinete a mola volta a empurrar a esfera contra as paredes do modelo.

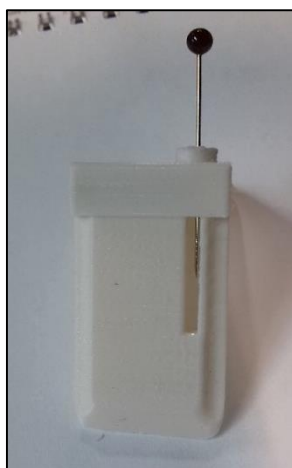


Figura 5-22 – Funcionamento do modelo 10

## Modelo 11

Este modelo com 10mm de profundidade terá a válvula ‘short valve core’. O orifício representa o espaço que a válvula ocuparia. Nas laterais da peça foi adicionado material para que o *topping* não seja tão frágil e buraco retangular tem a função de facilitar a circulação do ar. Nestes modelos com válvula



embutida há a possibilidade de colocar a válvula em profundidades diferentes. Duas situações possíveis são:

Modelos com a válvula saliente e com tampa de enroscar



Modelos com válvula totalmente inserida no *topping* e tampa inserida no interior da válvula



Para as duas situações também foi pensada a correspondente tampa que a válvula levaria.

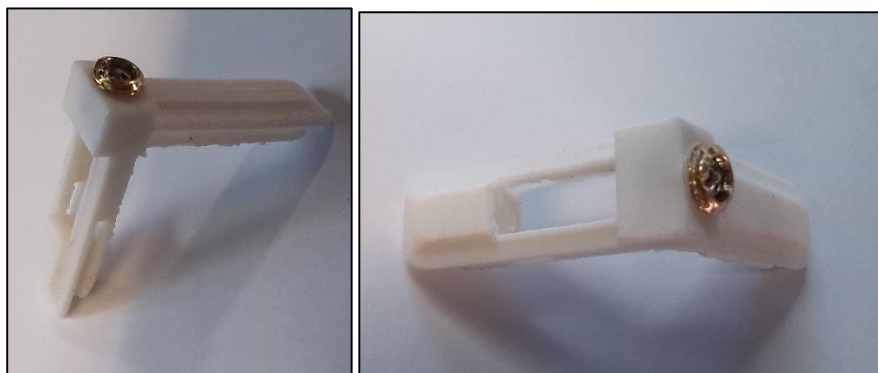


Figura 5-23 – Modelo 11 com válvula

## Modelo 12

Modelo igual ao 11 mas com uma profundidade de 20mm. Neste modelo também seria possível ter a válvula à profundidade desejada.

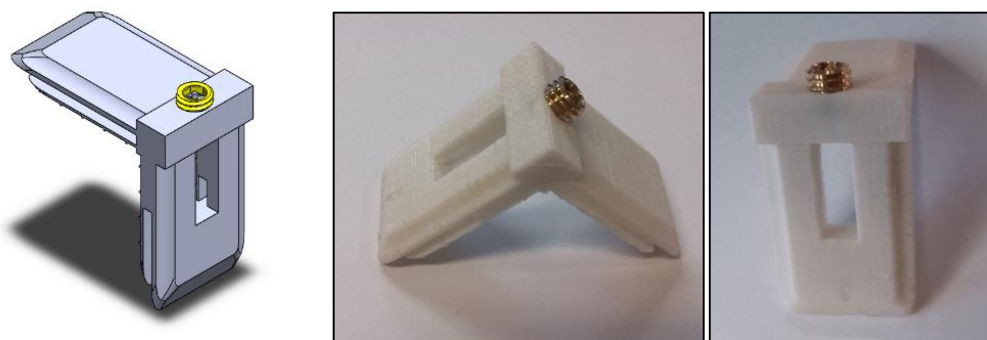


Figura 5-24 – Modelo 12

Após esta fase contactou-se uma empresa que produz moldes para injeção de plástico, a TECMOLDE, e com a sua ajuda foi possível direcionar melhor o desenho dos *toppings* no sentido de possibilitar e facilitar a sua produção. Os modelos criados a partir daqui têm sempre em vista a sua facilidade de produção. As indicações deixadas pela empresa levaram ao abandono dos modelos em que a válvula é embutida no molde uma vez que a pressão de injeção de plástico destruiria a válvula. Os modelos com a válvula de mola e esfera também foram abandonados uma vez que a esfera teria de ser feita num material elastómero para que existisse estanquicidade. Mas este material seria rapidamente destruído pela mola metálica.

### Modelo 13

Neste modelo existem algumas diferenças em relação aos modelos anteriores, nomeadamente as ranhuras de fixação ao perfil intercalar foram redesenhadas para que tivessem uma melhor aderência e também fossem mais fáceis de produzir. Também se criou uma saliência no topo do *topping* para acomodar uma tampa. Esta tampa serve para que durante o processo de produção de vidros duplos ou triplos o silicone da segunda selagem não entre para a válvula, danificando-a, e serve ainda para impedir que outro tipo de sujidade entre para a válvula.



Figura 5-25 – Modelo 13 e tampa

No entanto, após algumas pré-montagens dos *toppings* nos perfis, percebeu-se que existia um erro no desenho do modelo que poderia comprometer a estanquicidade de um vidro duplo ou triplo. Na Figura 5-26 (a vermelho) é visível que há uma zona entre o perfil intercalar e o *topping*, onde aparece um orifício. Isto é problemático porque caso o vidro duplo tenha no seu espaço interior ar, quando se fizer a segunda selagem do vidro, o silicone pode entrar através deste orifício e tapar a zona por onde se faz

o escoamento do ar através da válvula. Nas situações em que o vidro duplo tenha árgon no seu interior, a sua injeção é feita antes da segunda selagem, por isso aquele orifício (Figura 5-26) levará à perda de muito do gás injetado. Além disso, mesmo que algum do gás fique no interior do vidro, a segunda selagem não é suficiente para impedir a perda do restante árgon devido às suas características de permeabilidade. Em relação à tampa deste modelo decidiu-se que este desenho também não era o melhor uma vez que não havia nenhum encaixe forte entre ela e o *topping*, o que levava à queda da tampa.



Figura 5-26 – Zona problemático do modelo 13

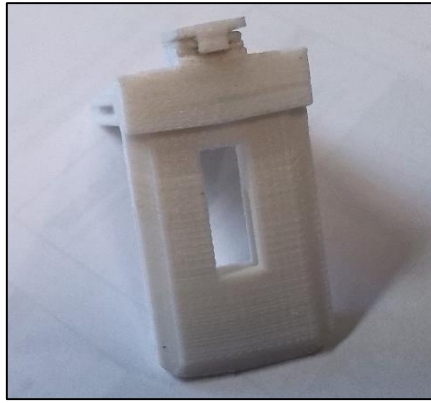
## Modelo 14

Este modelo foi criado para corrigir alguns erros do modelo 13, principalmente a zona onde poderiam haver fugas de ar. Este modelo foi ainda modificado para facilitar a sua impressão 3D não tendo as ranhuras de encaixe no perfil e algumas das superfícies foram também alteradas com o mesmo objetivo.



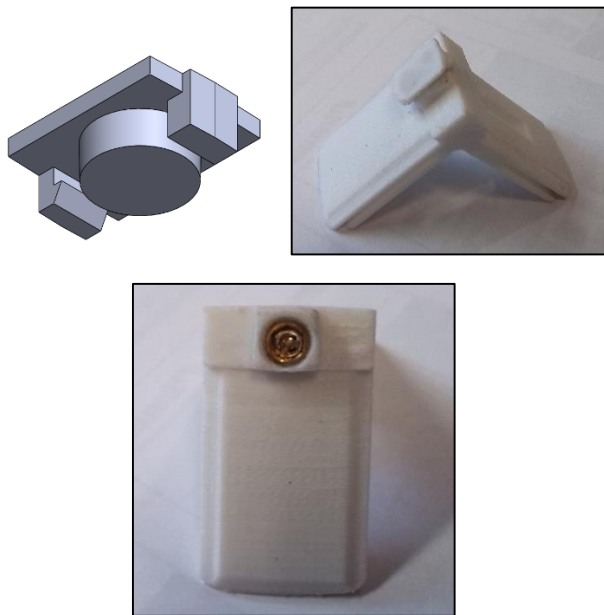
Figura 5-27 – Vista da válvula dentro do modelo 14

Na Figura 5-27 nota-se a ausência das ranhuras no *topping* e também é visível a parte inferior da válvula o que sugere que o escoamento do ar se dará sem problemas. Na ausência de ranhuras optou-se por criar um relevo para ajudar no encaixe ao perfil. Isto permitiu uma impressão mais rápida e sem a necessidade do trabalho de remoção de “andaimos” típicos das impressões 3D.



*Figura 5-28 – Modelo 14 com tampa*

Na Figura 5-28 nota-se que a zona onde ocorreriam fugas no modelo 14 foi corrigida e também é perceptível a zona de encaixe da nova tampa.

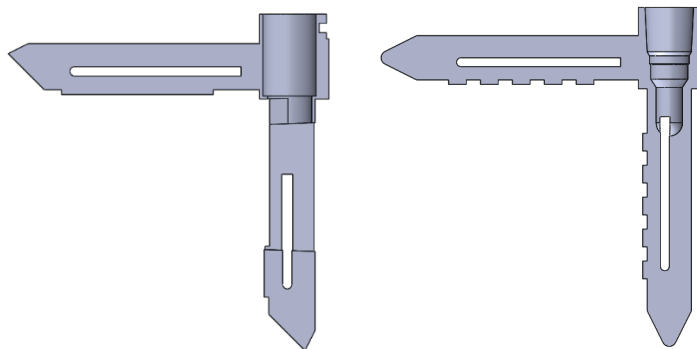


*Figura 5-29 – Modelo 14 com válvula e tampa*

Com as melhorias feitas ao modelo já foi possível realizar o teste de montagem do vidro duplo. No entanto, os resultados do teste não foram satisfatórios e foi necessária a realização de novos protótipos.

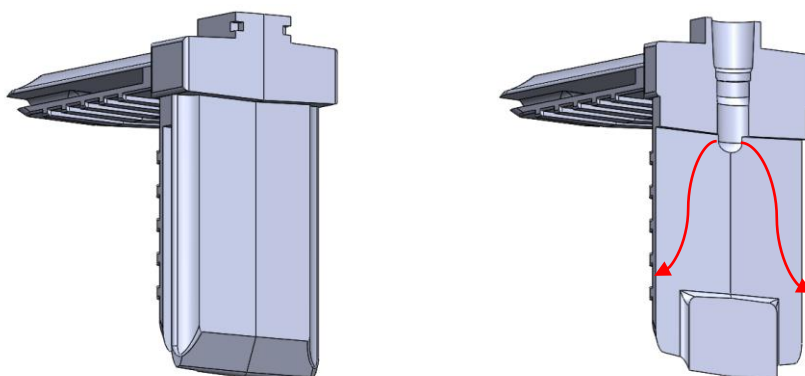
## **Modelo 15**

Neste modelo tentou-se corrigir algumas falhas que ocorreram no teste de montagem de vidro duplo sendo que uma delas estava relacionada com o formato do furo onde a válvula é enroscada. Seguindo as indicações do fabricante das válvulas, o novo furo tem o formato que se vê na Figura 5-30. Com isto pretende-se que exista um melhor aperto entre o *topping* e a válvula tornando o conjunto estanque.



*Figura 5-30 – Furo do modelo 15 com recomendações da Schrader*

Também se optou por retirar o furo lateral existente até este modelo para o tornar mais simples e porque se acredita que para que o escoamento se desse sem obstáculos não seria necessário o furo.



*Figura 5-31 – Demonstração do escoamento do ar*

A Figura 5-31 pretende mostrar que mesmo sem o furo lateral é possível dar-se o escoamento do ar sem haver problemas.



*Figura 5-32 – Modelo 15 em vários tamanhos*

Na Figura 5-33 à esquerda são visíveis as zonas de encaixe onde a tampa se fixará e na direita é perceptível a zona final do furo que permite fazer a injeção de ar para o interior do vidro duplo.



Figura 5-33

A tampa desenhada para este modelo permite um encaixe seguro ao *topping* mesmo depois de a válvula estar apertada. O seu desenho também foi alterado de forma a evitar a entrada de silicone para a válvula.

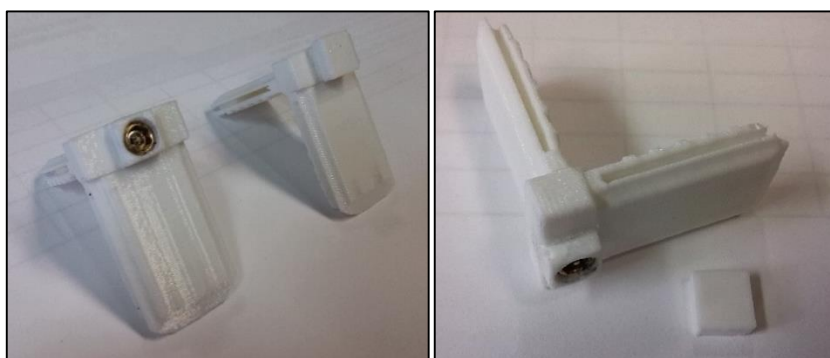


Figura 5-34 – Modelo 15 com a válvula e tampa instaladas

Este modelo em testes iniciais de montagem da válvula revelou que esta era fácil de instalar, no entanto, com as alterações feitas ao modelo não é visível se a válvula opera na perfeição, sendo necessário a realização de mais testes de montagem em vidros duplos.

## Modelo 16

Este modelo foi criado para que em nenhum dos quatro segmentos de perfil intercalar que compõem um vidro duplo fosse necessário retirar os sais dissecantes. O desenho deste novo modelo permite criar uma barreira entre a zona dos sais dissecantes e a zona de injeção de gás.

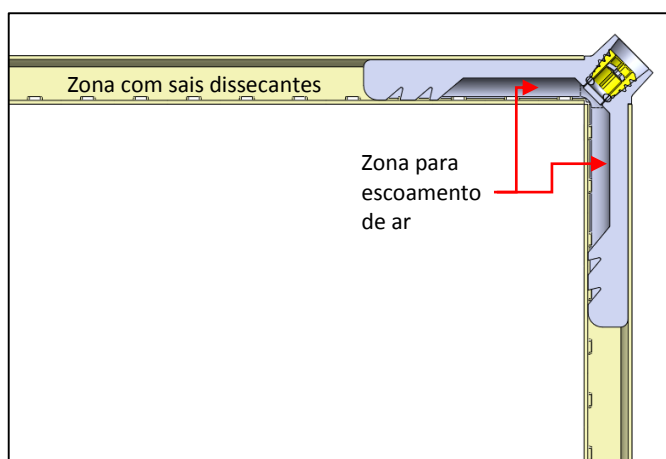
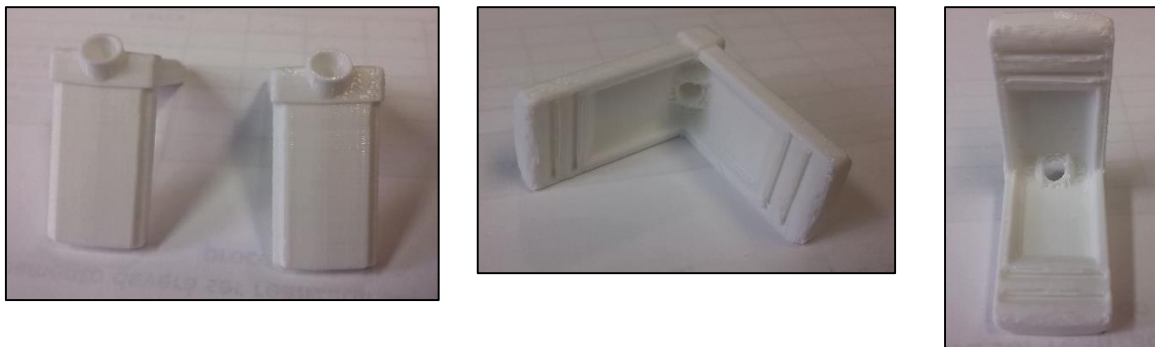


Figura 5-35

Como se pode ver, em mais pormenor na Figura 5-35 a válvula passaria a ser instalada na diagonal e o escoamento do ar ficaria concentrado numa zona menor do perfil, mas ainda assim seria suficiente para um bom escoamento.

Diferentes vistas do modelo 16:

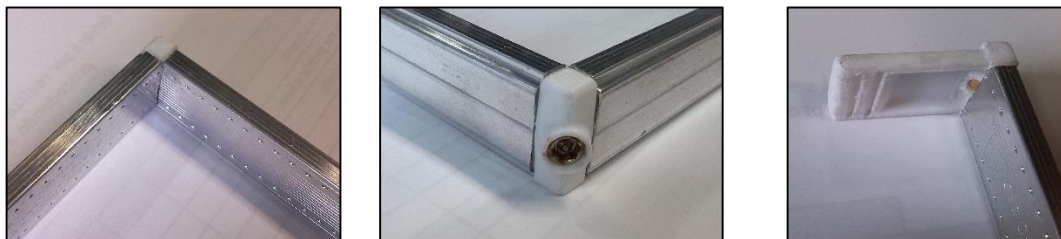


Este modelo foi projetado sem tampa uma vez que as tampas feitas para o modelo 13 também se podiam aplicar aqui. As imagens abaixo mostram a válvula e tampa instaladas no modelo 16.



*Figura 5-36 – Modelo 16*

Os testes de encaixe iniciais para este modelo foram bem-sucedidos, conseguindo-se ter um encaixe forte e foi também visível que a zona em que se pretendia que houvesse espaço livre para a circulação de ar foi bem-sucedida. Também se concluiu que a folga existente entre a base da válvula e o perfil permite a sua abertura completa.



*Figura 5-37 – Teste de encaixe do modelo 16*



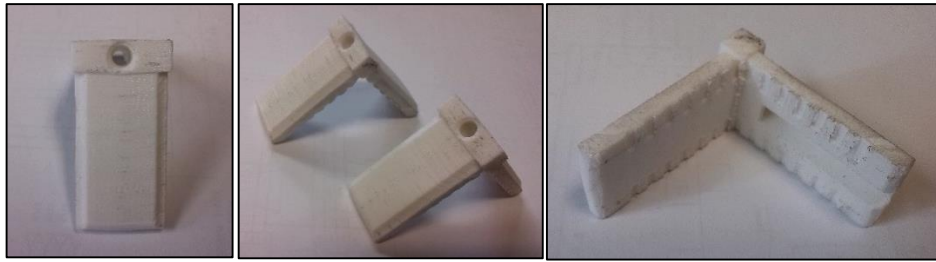
**Modelo 17**

Figura 5-38 – Modelo 17

Este modelo surgiu para que se pudesse introduzir a agulha de injeção da máquina de gás existente na empresa. Como tal, este modelo tem apenas um furo de 3,5 mm de diâmetro na vertical e será utilizado um parafuso e um o-ring para fechar o furo e impedir a saída de ar. A Figura 5-39 pretende demonstrar a utilização do parafuso e do *o-ring*.

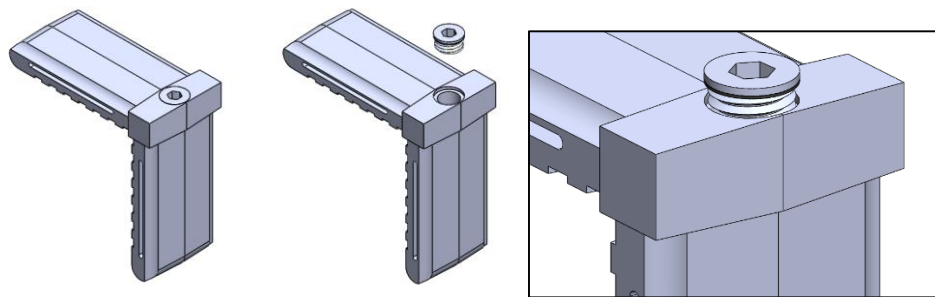


Figura 5-39 – Parafuso vedante do modelo 17

Para além do furo, este modelo tem um corte com o objetivo de permitir o funcionamento do sensor existente numa das agulhas usadas na injeção de gás.

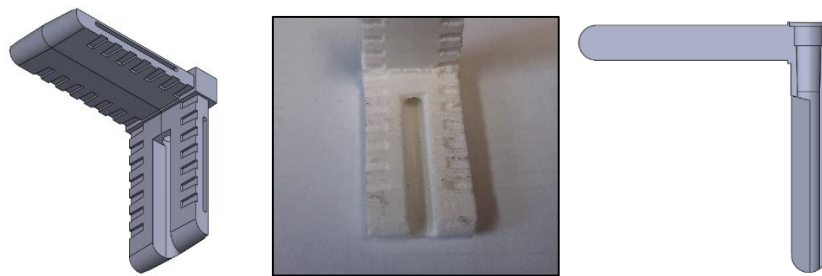


Figura 5-40 – Corte no modelo 17 para injeção de gás

As imagens que se seguem pretendem mostrar o funcionamento da agulha no interior do *topping*.

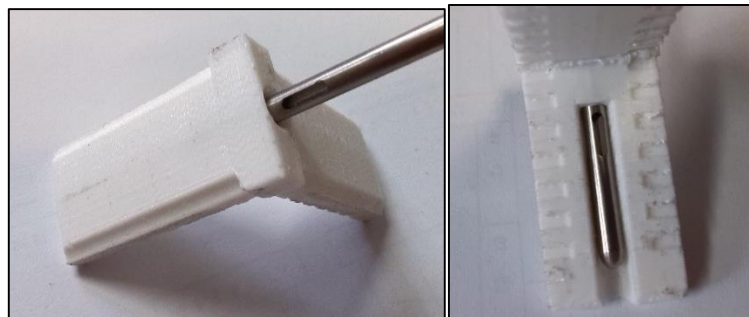


Figura 5-41 – Funcionamento do modelo 17 com a agulha de injeção

Para demonstrar o processo de injeção de gás criou-se um modelo 3D que tenta demonstrar o que se passa na realidade (Figura 5-42).

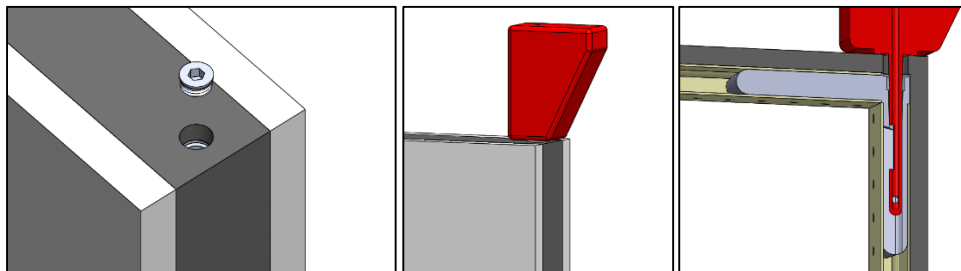


Figura 5-42 – Modelo 17 num vidro duplo

### 5.2.5. Seleção de materiais

Para dar longevidade e resistência aos *toppings* é necessário fazer a correta escolha do material para a sua construção.

O *topping* terá a função de fazer a ligação entre os perfis intercalares verticais e horizontais formando um canto e permitir o ajuste da pressão no interior do vidro duplo através de uma válvula incorporada nele.

O material que se procura deve ser um polímero com elevada dureza e elevada tensão de cedência e que seja possível de produzir por injeção de plásticos em moldes. Deve ser capaz de suportar os esforços que lhe são transmitidos durante a montagem dos vidros duplos. Como para vidros de grandes dimensões os perfis intercalares correspondentes terão igualmente grande comprimento e se somarmos ao peso próprio do perfil a massa dos sais dissecantes que são colocados no seu interior, as cargas transmitidas ao *topping* são assinaláveis. Além disto terá ainda de suportar os esforços que lhe são transmitidos durante a vida do vidro duplo. O material deve ser duro e resistente para que as ranhuras do *topping* permitam uma boa aderência às ranhuras do perfil intercalar sem haver separação entre estes dois. A sua dureza também é necessária para que quando se apertar a válvula no *topping* esta fique bem apertada e estanque, sem haver passagem de ar entre o *topping* e a válvula.

#### 5.2.5.1. Verificações

Para verificar se o material dos *toppings* utilizados na produção de vidro duplo servia para o novo modelo, fez-se uma breve experiência que consistiu em furar os *toppings* disponíveis e depois apertar-lhe um parafuso. O objetivo era perceber se o plástico suportava o aperto do parafuso sem se deformar.

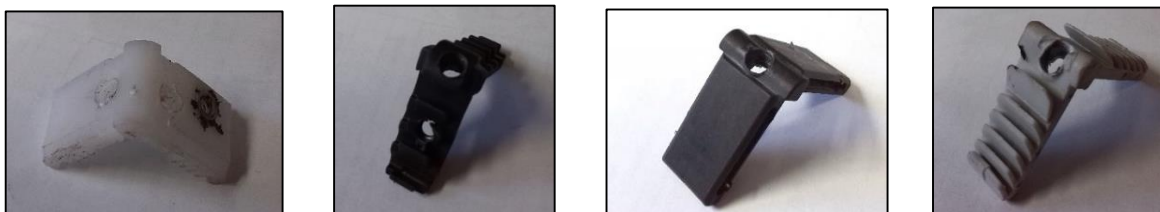


Figura 5-43 – Toppings de diferentes materiais

Utilizando os *toppings* existentes percebeu-se que estes eram demasiado macios para suportar o esforço necessário para o aperto do parafuso deixando que este facilmente deslize sobre a sua rosca.



Figura 5-44 – Roda de Nylon

Para se tentar descobrir os materiais mais indicados para o que se pretendia, utilizaram-se alguns dos materiais à disposição, neste caso utilizou-se uma das rodas transportadoras da máquina de aresta, esta roda era feita de um *nylon* que pareceu bastante duro e decidiu-se tentar criar um *topping* a partir deste material. Antes de se criar o *topping* fez-se um pequeno teste de estanquicidade utilizando uma porção da roda modificada de maneira a ter o formato de uma espécie de rolha com a válvula ‘*short valve core*’ enroscada no seu interior. Também se fez o teste de aperto de um parafuso numa outra porção da roda de *nylon*. À semelhança do que aconteceu nos *toppings* existentes na fabrica, quando se apertou o parafuso no *nylon* ele acabou por rodar livremente, no entanto, note-se que o esforço necessário para isto acontecer foi muito maior e mesmo depois de o parafuso rodar em falso, ainda era evidente o esforço que este transmitia ao plástico, comprimindo-o e deformando na zona da base do parafuso.

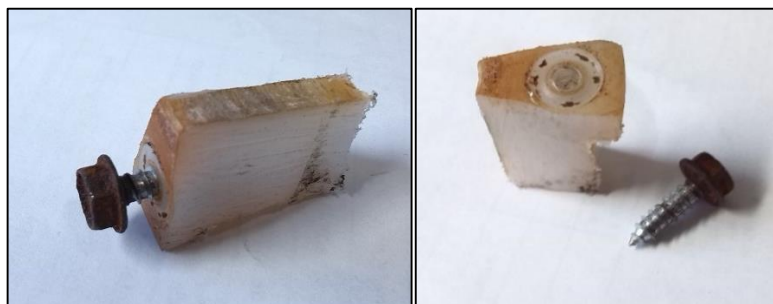


Figura 5-45 – Teste de parafuso em bloco de nylon

Criaram-se três rolhas, na primeira o furo para inserir a válvula tinha 5.5mm de diâmetro e colocou-se cola na rosca da válvula. Na segunda o furo para a válvula também tinha 5.5mm de diâmetro e desta vez optou-se por utilizar um macho para criar a rosca M6 para inserção da válvula. Também aqui se aplicou cola na rosca da válvula. A terceira rolha serviu para testar a estanquicidade no caso de se utilizar um parafuso para fechar o furo, como no caso do modelo 17 de *topping*.

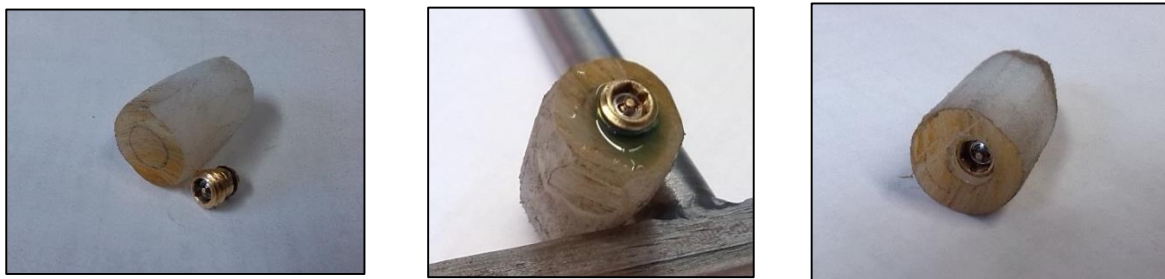


Figura 5-46 – Rolha com válvula



Figura 5-47 – Rolha com parafuso

Depois de criadas as rolhas fez-se o teste de estanquicidade. Para tal apertou-se a rolha com uma braçadeira na ponta de uma mangueira ligada à linha de ar comprimido e viu-se com *spray* anti fugas se existam perdas de ar.



Figura 5-48 – Teste de fugas de ar

Nesta primeira rolha foi perceptível uma pequena fuga de ar a partir da válvula, mas esta fuga era muito menos evidente que as fugas de ar existentes nos testes de vidro duplo com os *toppings* de PLA e ABS.

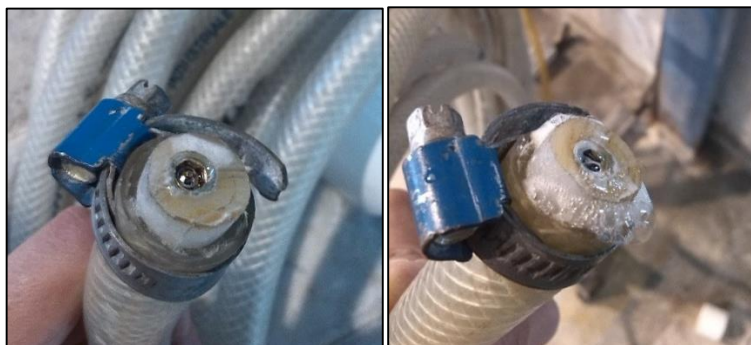


Figura 5-49 – Teste de fuga de ar sem sucesso

O teste com a segunda rolha já foi bem-sucedido conseguindo a estanquicidade total entre a válvula e o material.



Figura 5-50 – Teste de fugas de ar bem-sucedido

Deve-se acrescentar ainda que os furos neste teste não tinham o formato recomendado pelo fabricante das válvulas, era um furo simples de 5.5mm de diâmetro, o que leva a crer que numa situação em que o *topping* teria o formato indicado a estanquicidade estaria ainda mais reforçada.

Na terceira rolha também se obteve estanquicidade como se pode verificar pela figura abaixo. Foi necessário adicionar fio vedante para garantir que não existiriam fugas de ar.



Figura 5-51 – Teste de fuga de ar com parafuso

Depois de verificar que era possível obter uma boa vedação com este material construiu-se um *topping* semelhante ao modelo 15 para futuros testes de estanquicidade em vidros duplos. O *topping* que se criou a partir da roda de *nylon* será utilizado em perfis de 20mm e terá a válvula no seu interior.



Figura 5-52 – Construção de topping em nylon

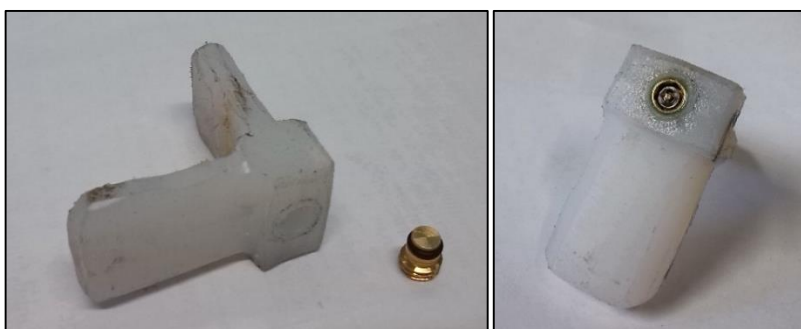


Figura 5-53 - Topping de nylon

Este modelo criado destina-se a ser utilizado em futuros testes de montagem de vidros duplos. Como se pode ver pelas imagens abaixo o encaixe nos perfis intercalares são eficazes.



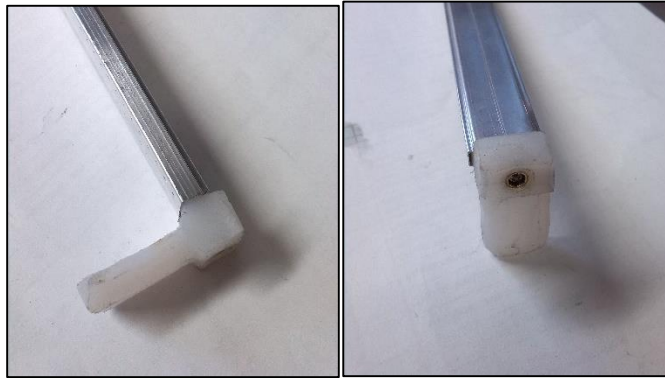


Figura 5-54 – Encaixe do topping no perfil intercalar

#### 5.2.5.2. Base de dados de materiais

Para além destes testes decidiu-se fazer um processo de seleção de materiais mais cuidado utilizando um *software* próprio para o efeito, o CES Edupack 2013.



Com a ajuda deste programa seleccionou-se um conjunto de materiais que satisfaziam determinadas condições. Essas condições eram:

- Tipo de material: termoplástico;
- Processo de fabrico: injeção em moldes;
- Tensão de cedência:  $> 60 \text{ MPa}$ ;
- Tensão de rotura:  $> 60 \text{ MPa}$ ;
- Temperatura de fusão:  $> 150^{\circ}\text{C}$ ;
- Dureza Vickers:  $> 18 \text{ HV}$ ;
- Preço:  $< 10\text{€/kg}$ .

Neste programa existem várias bases de dados a partir das quais se pode fazer a seleção dos materiais. Fazendo uma pesquisa mais geral, partindo de uma base de dados com 100 materiais diferentes, com estes parâmetros de seleção obtêm-se 4 materiais possíveis.

- Polyamides (Nylons, PA)
- Polyethylene terephthalate (PET)
- Polylactide (PLA)
- Polyoxymethylene (Acetal, POM)

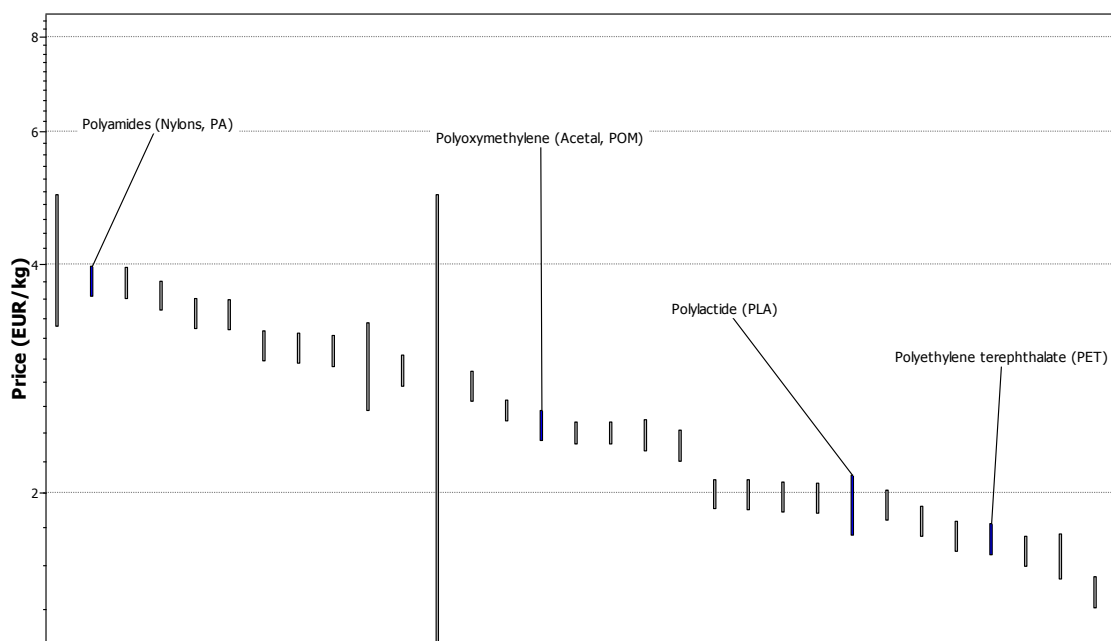


Gráfico 1 – Materiais mais indicados para a produção do topping

No entanto como já se verificou em testes anteriores o PLA não é um material viável, por isso, pode ser excluído desta lista.

É ainda possível fazer uma pesquisa para se obter resultados mais específicos, sabendo-se o tipo de poliamida, por exemplo, recomendado e não apenas resultados gerais. Então refinando-se a pesquisa obtem-se 81 materiais que podem ser utilizados para este projeto.

Desta vez os parâmetros foram os seguintes:

- Tipo de material: termoplástico;
- Processo de fabrico: injeção em moldes;
- Tensão de cedência: > 100 MPa;
- Tensão de rotura: > 100 MPa;
- Temperatura de fusão: > 150°C;
- Dureza Rockwell R: > 120;
- Preço: < 10€/kg.

Os materiais recomendados foram os seguintes:

- PA (type 46, 30% glass fiber)
- PA (type 46, 30% glass fiber, flame retarded V-0)
- PA (type 46, 50% glass and mineral filled)
- PA (type 46, 50% glass fiber)
- PA (type 6, 30% glass fiber, impact modified)
- PA (type 6, 30% long glass fiber)
- PA (type 6, 30-35% glass fiber)
- PA (type 6, 33% glass fiber, toughened)
- PA (type 6, 40% long glass fiber)
- PA (type 6, 50% glass fiber)
- PA (type 6, 50% long glass fiber)
- PA (type 610, 30-40% glass fiber)
- PA (type 612, 30% glass fiber, 15% PTFE, lubricated)
- PA (type 612, 30% glass fiber, flame retarded)



- PA (type 612, 30-35% glass fiber)
- PA (type 612, 33% glass fiber, toughened)
- PA (type 66, 30% carbon fiber)
- PA (type 66, 30% long glass fiber)
- PA (type 66, 30-33% glass fiber)
- PA (type 66, 40% long glass fiber)
- PA (type 66, 50% glass fiber)
- PA (type 66, 50% long glass fiber)
- PA (type 66, 60% long glass fiber)
- PA6/PP (30-35% glass fiber)
- PBT (30% carbon fiber)
- PBT (30% glass fiber)
- PBT (30% glass fiber, flame retarded)
- PBT (30% long glass fiber)
- PBT (35% random glass mat)
- PBT (40% glass fiber)
- PBT (40% long glass fiber)
- PBT (50% glass fiber)
- PBT (50% long glass fiber)
- PBT (60% long glass fiber)
- PCT (27% glass fiber and mineral)
- PCT (30% glass fiber)
- PCT (30% glass fiber, flame retarded)
- PCT (40% glass fiber)
- PCT (40% glass fiber, flame retarded)
- PET (30% carbon fiber)
- PET (30% glass fiber)
- PET (30% glass fiber, recycled content)
- PET (30% glass fiber, flame retarded)
- PET (30% long glass fiber)
- PET (35-45% glass fiber and mica)
- PET (40% glass fiber, flame retarded)
- PET (40% long glass fiber)
- PET (40-45% glass fiber)
- PET (45% glass fiber, recycled content)
- PET (50% long glass fiber)
- PET (60% long glass fiber)
- Polyarylamide (20% glass fiber, wear grade)
- Polyarylamide (30% glass fiber)
- Polyarylamide (40-45% mineral filled)
- Polyarylamide (50% glass fiber)
- Polyarylamide (50% glass fiber, flame retarded)
- Polyarylamide (55% glass and mineral filled)
- Polyarylamide (60% glass fiber)
- POM (40% long glass fiber)
- PPA (15% glass fiber)
- PPA (33% glass fiber)
- PPA (33% glass fiber, flame retarded V-0)
- PPA (40% glass and mineral)

- PPA (45% glass fiber)
- PPA (45% glass fiber, flame retarded V-0)
- PPA (51% glass and mineral)
- PPS (40% glass fiber)
- PPS (40% long glass fiber)
- PPS (50% glass fiber and mineral)
- PPS (50% long glass fiber)
- PPS (53% glass fiber and mineral, impact)
- PPS (60% long glass fiber)
- SPS (15% carbon fiber, 15% PTFE, 2% silicone)
- SPS (20% carbon fiber)
- SPS (20% glass fiber)
- SPS (30% glass fiber)
- SPS (30% glass fiber, 10% PTFE, 2% silicone)
- SPS (30% glass fiber, 15% PTFE)
- SPS (40% glass fiber)
- SPS (40% glass fiber, 5% PTFE)
- SPS(15% carbon fiber, 15% PTFE)

Em parte os resultados obtidos com o software suportam os resultados dos testes realizados que determinaram que o Nylon (PA) é um material viável para a produção dos *toppings*, no entanto não fora possível determinar que tipo de Nylon era aquele. Agora com a ajuda do software já se sabe quais os tipos de Nylon disponíveis que tem as características necessárias para o projeto, para além muitas outras possibilidades.

### 5.3. Modelo final

Depois de um longo processo de desenvolvimento de *toppings* chegou-se a um modelo final que tem todas as características que se pretende: facilidade de utilização, acesso fácil, estanquicidade e não é visível através do vidro. Este último modelo também foi concebido de forma a ser fácil de produzir e de baixo custo.

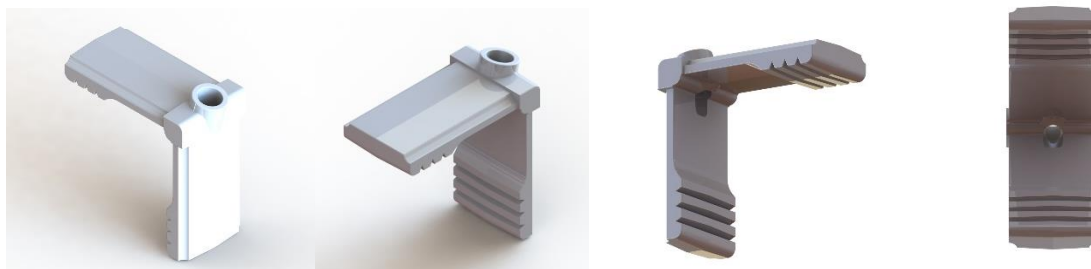




Figura 5-55 – Modelo final

A Figura 5-56 está exagerada para se fazer a descrição pormenorizada do modelo final. A zona identificada com o número 1 destina-se a acomodar a válvula da *Schrader International* 42970-00. Esta válvula é instalada depois do fabrico do *topping* sendo enroscada e na sua rosca levará uma cola vedante como medida de segurança para garantir a estanquicidade. A zona número 2 serve como uma câmara de transferência de gases. Como o *topping* nesta zona é menos espesso que nas pontas cria-se um espaço livre que permite a circulação de gases, esses gases passarão para a câmara-de-ar do vidro duplo ou triplo através dos orifícios existentes no perfil intercalar. A zona 3 serve para impedir a passagem dos sais dissecantes para a zona 2 e que cheguem á válvula. Se os sais chegassem à zona 2 para além de poderem prejudicar o funcionamento da válvula dificultariam a transferência de gases. As ranhuras da zona 4 servem para garantir a aderência do *topping* ao perfil, encaixando as ranhuras nas saliências existentes nos perfis intercalares.

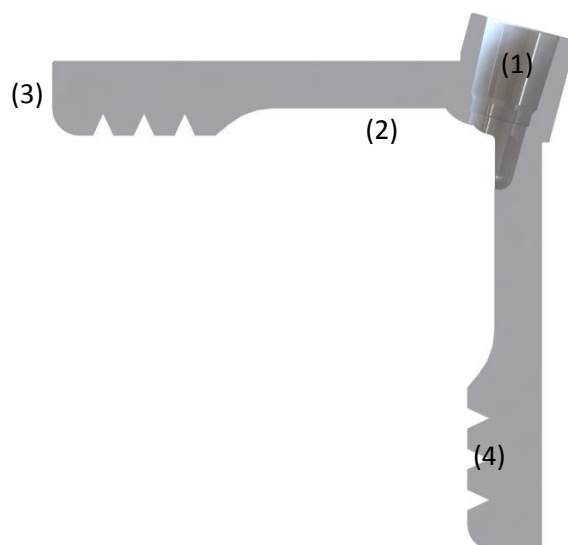
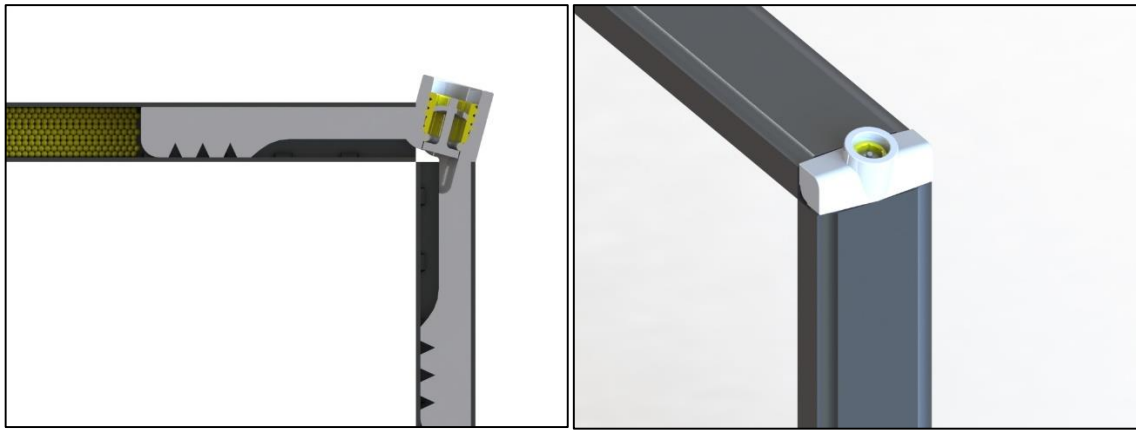


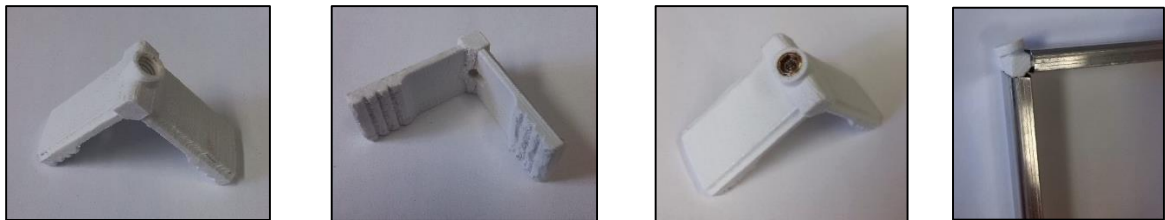
Figura 5-56 – Vista em corte do modelo final

As figuras abaixo demonstram graficamente o que se pretende com as diferentes zonas do *topping*.



*Figura 5-57 – Simulação de montagem*

Nas imagens abaixo, é possível ver as diferentes vistas do modelo final.



Foram produzidos vários modelos finais em diferentes larguras para verificar se todos os modelos estavam em conformidade com o que se pretende.



*Figura 5-58 – Modelo final em diferentes dimensões*

Após algumas verificações concluiu-se que este modelo satisfaz os requisitos determinados pelo projeto.

Para facilitar a entrada destes novos *toppings* na linha de produção de vidro duplo teve-se de criar, como já se fez anteriormente, uma tampa para impedir a entrada de silicone para a zona da válvula. Também, é necessário criar um adaptador para se fazer a injeção do gás. Para se fazer a injeção do gás árgon para o interior do vidro duplo são utilizadas duas agulhas, uma injeta o gás e a outra retira o ar no interior do vidro. Este adaptador será colocado entre a válvula e a agulha e servirá para pressionar a válvula, abrindo-a e para acomodar agulha de injeção de gás.

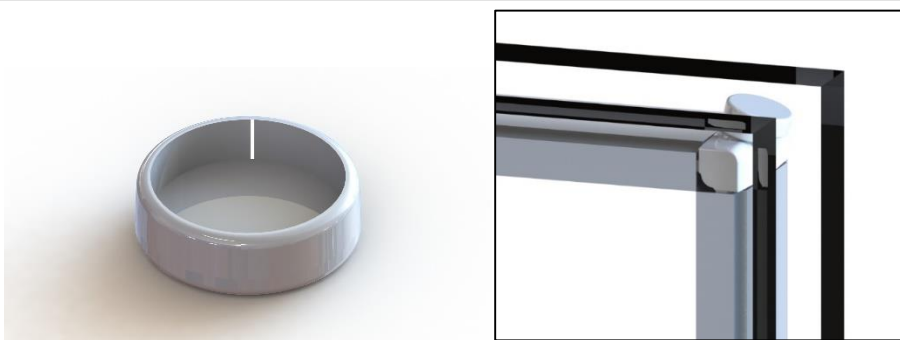


Figura 5-59 – Demonstração da instalação

Com a imagem de baixo pretende-se demonstrar como será o funcionamento do adaptador para a injeção do gás.

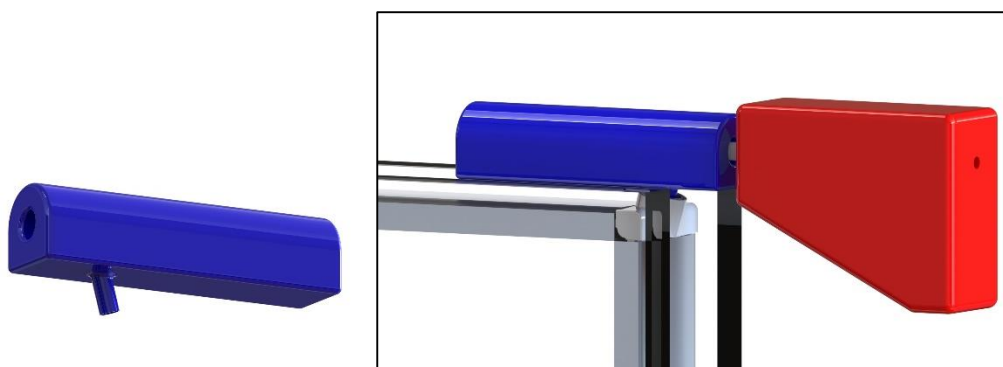


Figura 5-60 – Adaptador e o seu funcionamento

## 6. TESTES

Um dos objetivos deste projeto passa pela redução da selagem que se aplica em vidros duplos e triplos. Para se estudar esta possibilidade teve de se realizar testes e estudos tanto pela Vidromax como por entidades externas. O conjunto de testes servirá para determinar a espessura mínima de selagem necessária para garantir a estanquicidade e a resistência estrutural das janelas de vidros duplos e triplos. Assim pretende-se passar de uma espessura de selagem com 7mm para uma espessura de 4mm.

Para isso também foi necessário idealizar e produzir alguns provetes para serem testados.

### 6.1. Teste de selagem realizado pela Sika®

Os primeiros testes foram realizados pela Sika®, empresa produtora dos selantes utilizados pela Vidromax.

O que se requeriu neste primeiro teste foi que se estudasse a possibilidade de reduzir a selagem com o silicone Sikasil® IG-25 HM Plus (para utilizar com Árgon) de 7mm de espessura para 4mm em unidades verticais apoiadas nos quatro lados com calhas em forma de U.

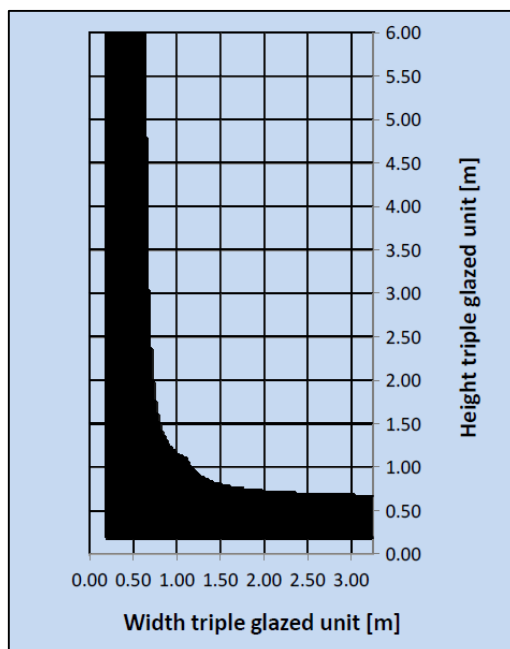
As condições do teste foram as seguintes:

- Carga máxima do vento: 0.7 kPa;
- Pressão isocórica ( $\Delta T_{\text{cavidade}} \leq 30^{\circ}\text{K}$ ;  $\Delta H_{\text{altitude}} \leq 200\text{m}$ ): 14.6 kPa;

- O peso morto de todo o vidro é permanentemente suportado por meios mecânicos (apoios compatíveis com silicone);
- As dimensões máximas para os vidros foram 3.25 metros de largura por 6 metros de altura.

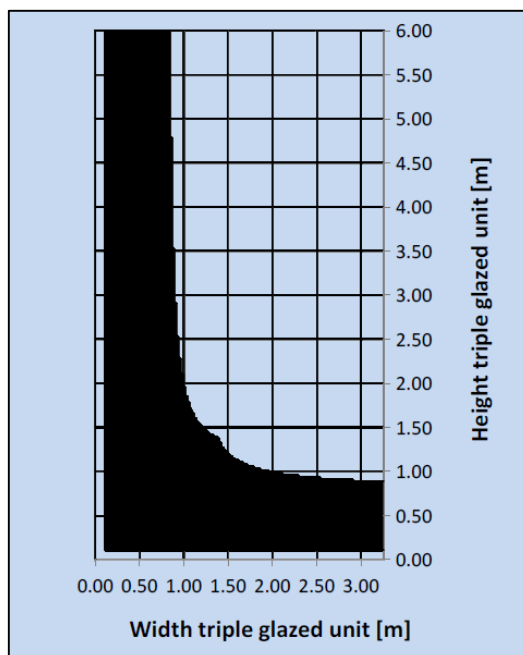
Os resultados foram os seguintes:

- Para vidros triplos com a combinação 8mm/16mm/6mm/16mm/8mm e com selagem de Sikasil® IG-25 HM Plus com **7mm** de espessura.

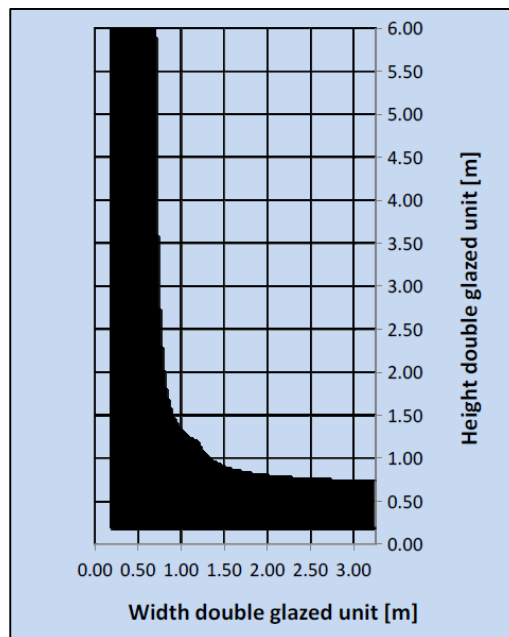


**Nota:** a área a cinzento no interior do gráfico corresponde às dimensões do vidro que foram aprovadas pelo teste, as zonas a preto foram não foram aprovadas.

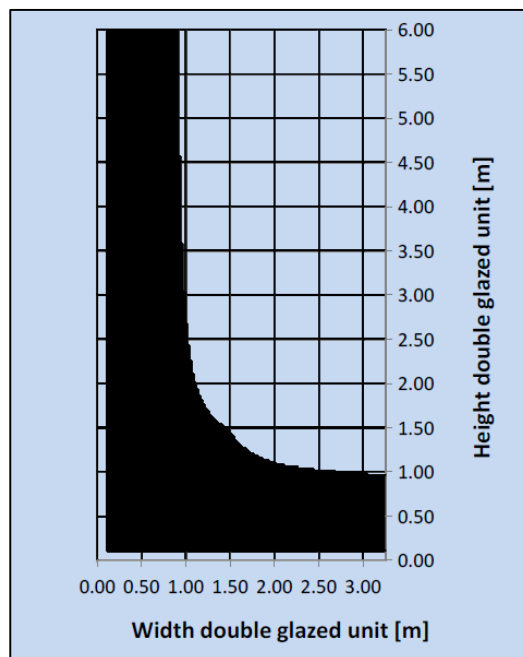
- Para vidros triplos com a combinação 8mm/16mm/6mm/16mm/8mm e com selagem de Sikasil® IG-25 HM Plus com **4mm** de espessura.



- Para vidros duplos com a combinação 10mm/16mm/10mm e com selagem de Sikasil® IG-25 HM Plus com **7mm** de espessura.



- Para vidros duplos com a combinação 10mm/16mm/10mm e com selagem de Sikasil® IG-25 HM Plus com **4mm** de espessura.



Destes resultados conclui-se que em qualquer uma das situações, tanto em vidros duplos como triplos, verificou-se que para os vidros em que a largura é muito maior que a altura, ou vice-versa, os testes não provam a sua utilização. No entanto tanto nos vidros duplos como triplos a faixa de dimensões não aprovadas é maior para a selagem com 4mm de espessura, concluindo-se que a utilização da selagem 4mm em comparação com a de 7mm é um pouco mais limitada.



## 6.2. Testes de espessura mínima da segunda selagem realizado pela Sika®

Para determinar as espessuras mínimas da segunda selagem necessária para que os vidros triplos suportassem o seu próprio peso foi pedido à Sika® que realizasse alguns testes. Estes testes consistiam na simulação do comportamento da selagem em vidros de fachada em que apenas os vidros interiores estão apoiados e o vidro exterior tem de ser suportado apenas pela selagem.

Então a empresa decidiu fazer cálculos para vidros triplos com as características:

Altura [mm]	Largura [mm]	Combinação
3000	3000	8mm/16mm/6mm/16mm/8mm
4000	4000	8mm/16mm/6mm/16mm/8mm
5000	5000	8mm/16mm/6mm/16mm/8mm

Para os cálculos considerou-se que os vidros eram apoiados em apenas dois dos lados, nos dois lados verticais ou nos dois lados horizontais.

As cargas e as características do sistema foram as seguintes:

- Carga máxima esperada do vento: 0,7 kPa;
- Pressão máxima isocórica (cavidade exterior): 20 kPa;
- Pressão máxima isocórica (cavidade interior): 18 kPa;
- Temperatura máxima do vidro: 80°C;
- Temperatura máxima do alumínio: 55°C;
- Temperatura da união: 22°C;

O silicone utilizado para a selagem foi o **Sikasil® IG-25 HM Plus**.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Para vidros com 3 metros por 3 e apoiados nos dois lados verticais em a espessura mínima de selagem é 7mm.
- Nos vidros de 4 por 4 metros apoiados nos dois lados verticais a espessura mínima de selagem é 8mm.
- Em vidros com 5 metros em cada lado e apoiados nos dois lados verticais a espessura mínima é de 10mm.
- Vidro com 3 metros por 3 desta vez apoiados nos dois lados horizontais a espessura mínima de selagem é de 7mm.
- Para vidros de 4 por 4 metros apoiados nos dois lados horizontais a espessura mínima de selagem é de 8mm.
- E para vidros de 5 metros por 5 metros apoiados nos dois lados horizontais a espessura mínima de selagem é 10mm.

Tabela 1 – Resultados dos testes da espessura mínima da segunda selagem

Minimum dimensions of the secondary seal				
Glass dimensions [width x height]	Max. wind load  Max. isochoric pressure	Restraint condition	Inclination	Min. joint dimensions  <b>Sikasil® IG-25 HM Plus</b>
3000mm x 3000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (vertical sides bonded)	Vertical	<b>7mm</b>
4000mm x 4000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (vertical sides bonded)	Vertical	<b>8mm</b>
5000mm x 5000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (vertical sides bonded)	Vertical	<b>10mm</b>
3000mm x 3000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (horizontal sides bonded)	Vertical	<b>7mm</b>
4000mm x 4000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (horizontal sides bonded)	Vertical	<b>8mm</b>
5000mm x 5000mm 8 / 16 / 6 / 16 / 8	0.70 kPa  20.0 kPa (outer cavity)  18.0 kPa (inner cavity)	2-sides supported (horizontal sides bonded)	Vertical	<b>10mm</b>

Os resultados foram obtidos para vidros sem calha. Dos resultados obtidos nestes testes conclui-se que, com estas condições de teste, a utilização de selagem com apenas 4mm de espessura não é aconselhável para nenhum dos casos. No entanto deve-se referir que estes testes se realizaram sem calha e os vidros apenas estavam apoiados em dois lados.

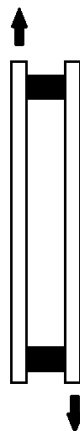
### 6.3. Ensaio de corte realizados no Departamento de Mecânica do ISEC.

Estes testes servirão para determinar a carga necessária para separar a selagem de silicone do vidro em vidros duplos. A primeira selagem será feita com o SikaGlaze IG-5 PIB (butilo) e a segunda com Sikasil IG-25. O esforço que se pretende provocar nos provetes é de tensão de corte. A selagem terá 7 ou 4mm de espessura.

Os testes serão realizados com provetes de dimensões reduzidas e apenas dois lados dos vidros terão a selagem. Isto servirá para permitir a montagem dos provetes no equipamento de ensaios. Na análise aos

resultados será estabelecida uma relação entre a área de selagem e o esforço que a selagem suportou. Por fim fazer-se-á uma estimativa do esforço que a selagem em vidros maiores suportaria.

Os esforços que se pretendem aplicar estão representados na imagem seguinte.



### 6.3.1. Ensaio preliminar

#### Provetes submetidos a teste

O provete da Figura 6-1 destina-se a um ensaio em que se pretende que o movimento de tração do equipamento de ensaios seja convertido para provocar esforços de corte na selagem deste provete. Para tal é necessário um mecanismo que permita a realização deste ensaio não normalizado. Inicialmente decidiu-se utilizar um adaptador baseado num perfil U em aço que foi modificado para o efeito. Com este perfil a dimensão dos vidros fica limitada a 130mm de altura. Estes provetes têm 130mm de altura por 130mm de largura.

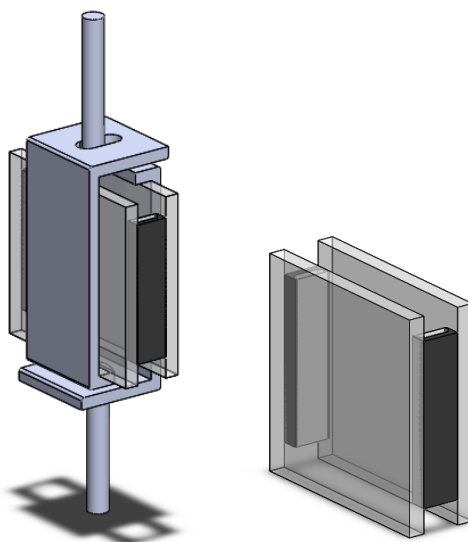


Figura 6-1 – Representação do ensaio pretendido

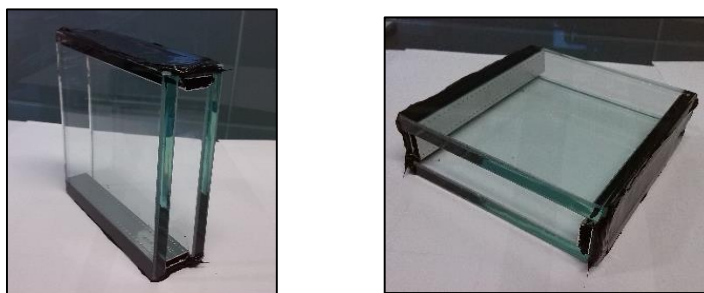
#### Equipamento de ensaios

O equipamento disponível nas Oficinas de Mecânica do ISEC no Laboratório de Materiais, é uma máquina da Instron modelo 5584.



*Figura 6-2 – Equipamento de ensaios*

## **Provete criado**



Este primeiro ensaio serve apenas para verificar se o adaptador criado para o ensaio era eficaz. Após a maquinação do perfil em U, o objeto final ficou como demonstrado na Figura 6-3.



*Figura 6-3 – Adaptador para o ensaio*

Como se pode ver na Figura 6-4 o encaixe entre o vidro e o adaptador foi bem conseguido.



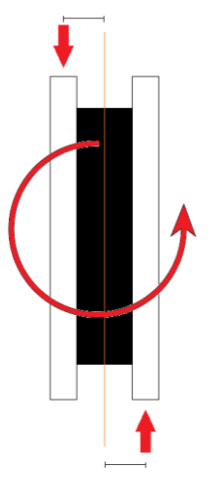
Figura 6-4

Em seguida instalou-se o adaptador na máquina e realizou-se o ensaio.



Figura 6-5 – Preparação para o ensaio de corte

Durante o teste, o provete de vidro manteve-se no interior do adaptador, mas no entanto, à medida que o deslocamento provocado pela máquina de ensaio foi aumentado o provete começou a rodar. Esta rotação deve-se à distância que existe entre o eixo vertical de deslocação da máquina e o ponto onde são aplicadas as forças no provete de vidro.



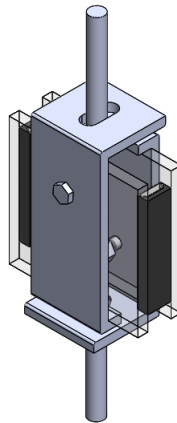
Este movimento fica evidente na Figura 6-6.



*Figura 6-6 – Ensaio de tração – rotação do provete*

Com este ensaio percebeu-se que ainda não era possível obter resultados satisfatórios sendo necessárias mais algumas alterações.

Foi então necessário encontrar novas soluções. A solução encontrada passou por fazer um furo lateral na chapa de perfil U e um furo no vidro. Assim pode-se unir o vidro à chapa evitando que o vidro possa rodar. A Figura 6-7 faz a representação do que se pretende.



*Figura 6-7 – Nova montagem para o ensaio de corte*

Produziu-se então um novo provete com as dimensões e furos necessários e realizou-se um novo ensaio preliminar.



*Figura 6-8 – Novo provete de ensaio*



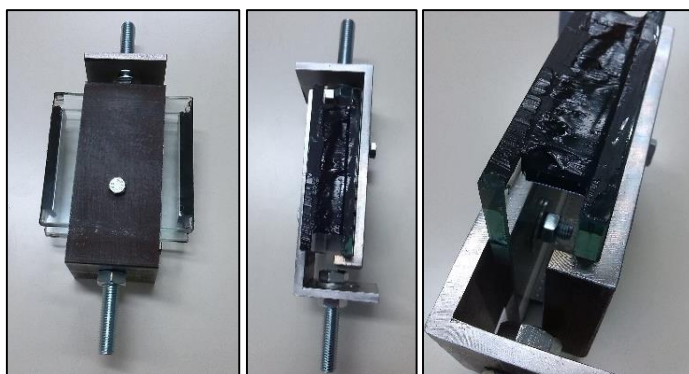


Figura 6-9 – Vistas do provete com o parafuso de união



Figura 6-10 – Ensaio preliminar

Com esta montagem já foi possível realizar um teste viável sem o aparecimento de movimentos de rotação. Assim, obteve-se resultados e observou-se o comportamento do provete ao longo do ensaio.

Para este provete a rotura ocorreu para uma carga de 375 kN (37,5kg), ao fim de um deslocamento de 5,8mm. Se se considerar a área resistente do provete como a área em contacto entre a superfície do vidro e o silicone mais o butilo, a área resistente deste provete será 818,4mm<sup>2</sup>. Esta área deve ainda ser multiplicada por dois porque o provete tem dois lados com silicone e butilo.

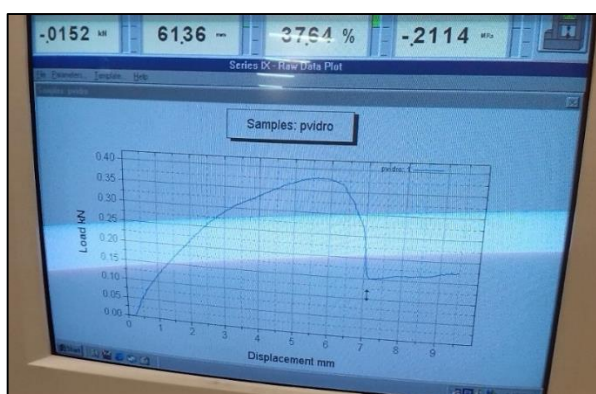


Figura 6-11 – Gráfico com os esforços suportados pelo provete

Na análise ao provete verificou-se que apenas um dos lados de silicone rompeu completamente.

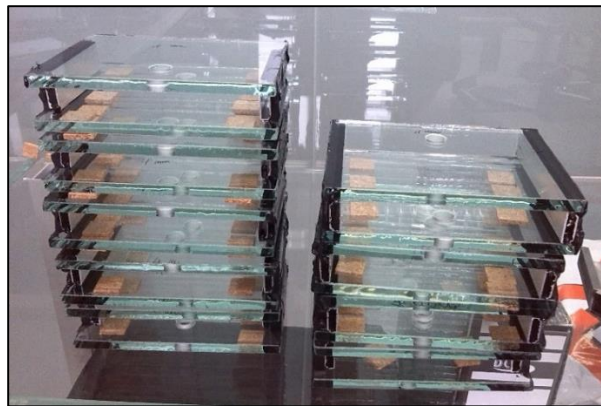




*Figura 6-12 – Zona de rotura do silicone*

A próxima fase passa por se construírem mais provetes com diferentes comprimentos de perfil e diferentes espessuras de silicone. Serão produzidos 9 provetes, representados no anexo 5.

Pode-se ver na figura a baixo todos os provetes criados para os ensaios de esforços de corte.



*Figura 6-13*

### **6.3.2. Ensaios de esforços de corte**

Depois de os provetes estarem criados fez-se uma série de testes em que se provou um esforço de corte nas selagens de um vidro duplo. Nestes testes apenas se variou a velocidade do deslocamento, sendo que para os provetes 1, 3, 5 e 9 a velocidade de deslocamento foi de 10mm/min enquanto que nos provetes 2, 4, 6, 7, 8 a velocidade de deslocamento foi de 2mm/min. O objetivo desta alteração na velocidade era perceber se isto era relevante para a resistência do silicone.

Antes da realização dos testes fez-se uma medição rigorosa das dimensões das selagens (butilo + silicone), através da superfície do vidro mediu-se o comprimento (C) da zona de contacto entre o silicone + butilo e o vidro e também a sua largura (L). Alguns dos provetes criados tinham uma espessura de selagem de 7mm e outros tinham a selagem reduzida para 4mm.

Com estes ensaios pretende-se determinar qual a tensão máxima suportada pelo silicone, para isso é necessário determinar qual a área resistente de silicone submetida a teste. Esta área corresponde ao comprimento multiplicado pela largura medidos antes do ensaio, multiplicado por 2, porque há duas zonas onde o silicone é aplicado.

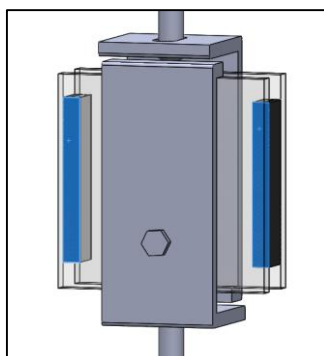


Figura 6-14 – Representação da área resistente dos provetes

Os testes realizados foram os seguintes:

Provete #1



Espessura da selagem= 4mm  
 $C = 80,5\text{mm}$   
 $L = 10,35\text{mm}$   
 $\text{Área} = 1666,35\text{ mm}^2$   
 $V = 10\text{mm/min}$

Provete #2



Espessura da selagem= 7mm  
 $C = 80,3\text{mm}$   
 $L = 14,7\text{mm}$   
 $\text{Área} = 2360,82\text{ mm}^2$   
 $V = 2\text{mm/min}$

Provete #3



Espessura da selagem= 4mm  
 $C = 80,6\text{mm}$   
 $L = 10\text{mm}$   
 $\text{Área} = 1612\text{ mm}^2$   
 $V = 10\text{mm/min}$

Provete #4



Espessura da selagem= 4mm  
 $C = 93,7\text{mm}$   
 $L = 10,6\text{mm}$   
 $\text{Área} = 1986,44\text{mm}^2$   
 $V = 2\text{mm/min}$

Provete #5



Espessura da selagem= 7mm  
C= 101mm  
L= 14,5mm  
Área= 2929 mm<sup>2</sup>  
V=10mm/min

Provete #6



Espessura da selagem= 4mm  
C= 100,5mm  
L= 10,4mm  
Área= 2090,4mm<sup>2</sup>  
V=2mm/min

Provete #7



Espessura da selagem= 7mm  
C= 120mm  
L= 13,45mm  
Área= 3228mm<sup>2</sup>  
V= 2mm/min

Provete #8



Espessura da selagem= 4mm  
C= 120mm  
L= 9,5mm  
Área= 2280 mm<sup>2</sup>  
V=2mm/min

Provete #9



Espessura da selagem= 4mm  
C= 120mm  
L= 9,9mm  
Área= 2376 mm<sup>2</sup>  
V=10mm/min

### 6.3.3.Resultados

Provete #1	4	mm	Provete #2	7	mm
At=	1666,35	mm <sup>2</sup>	At=	2360,82	mm <sup>2</sup>
v=	10	mm/min	v=	2	mm/min
Carga máxima=	0,56132	KN	Carga máxima=	0,48134	KN
Deslocamento máx=	11,038190	mm	Deslocamento máx=	12,278380	mm
Tensão máxima=	0,336856	MPa	Tensão máxima=	0,203887	MPa

Provete #3	4	mm	Provete #4	4	mm
At=	1612	mm <sup>2</sup>	At=	1986,44	mm <sup>2</sup>
v=	10	mm/min	v=	2	mm/min
Carga máxima=	0,56543	KN	Carga máxima=	0,52829	KN
Deslocamento máx=	9,518120	mm	Deslocamento máx=	10,861810	mm
Tensão máxima=	0,350763	MPa	Tensão máxima=	0,265948	MPa

Provete #5	7	mm	Provete #6	4	mm
At=	2929	mm <sup>2</sup>	At=	2090,4	mm <sup>2</sup>
v=	10	mm/min	v=	2	mm/min
Carga máxima=	0,50327	KN	Carga máxima=	0,54827	KN
Deslocamento máx=	10,418170	mm	Deslocamento máx=	8,668280	mm
Tensão máxima=	0,171823	MPa	Tensão máxima=	0,262280	MPa

Provete #7	7	mm	Provete #8	4	mm
At=	3228	mm <sup>2</sup>	At=	2280	mm <sup>2</sup>
v=	2	mm/min	v=	2	mm/min
Carga máxima=	0,36664	KN	Carga máxima=	0,68211	KN
Deslocamento máx=	8,014630	mm	Deslocamento máx=	9,880520	mm
Tensão máxima=	0,113581	MPa	Tensão máxima=	0,299171	MPa

Provete #9	4	mm
At=	2376	mm <sup>2</sup>
v=	10	mm/min
Carga máxima=	0,42998	KN
Deslocamento máx=	6,694780	mm
Tensão máxima=	0,180968	MPa

Com estes testes pretendia-se determinar qual a tensão de corte máxima que as selagens suportavam antes de haver a rotura. Uma vista geral dos resultados será mostrada nos gráficos abaixo.

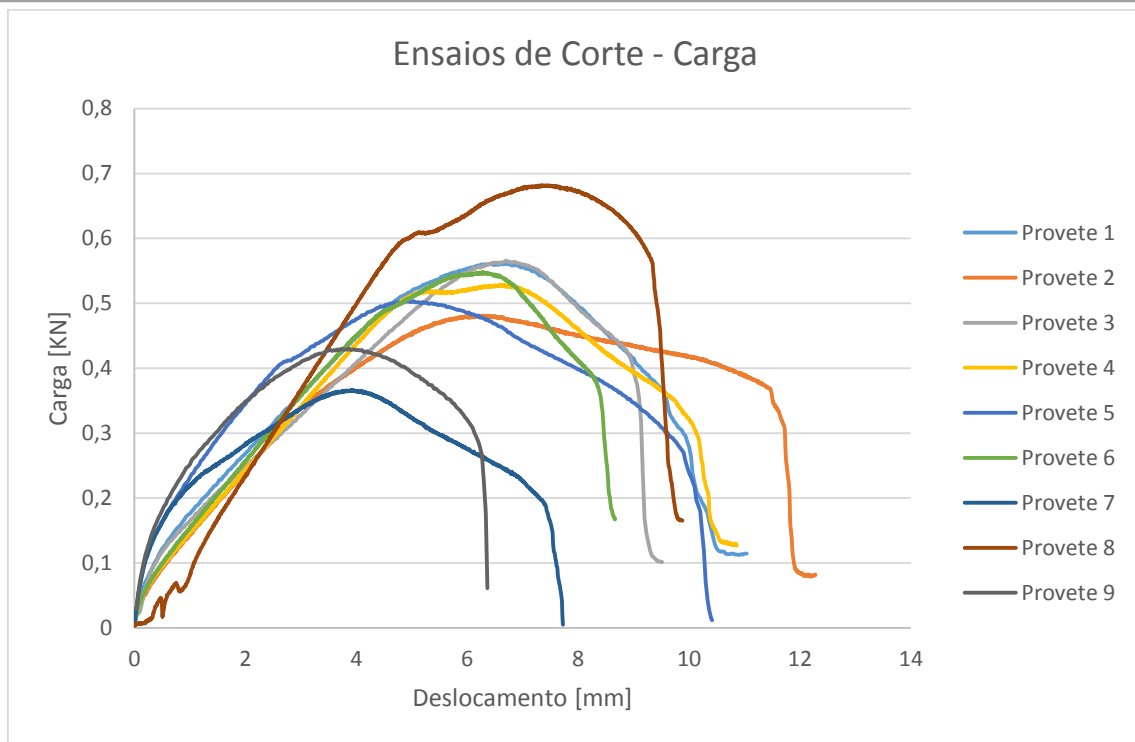


Gráfico 2

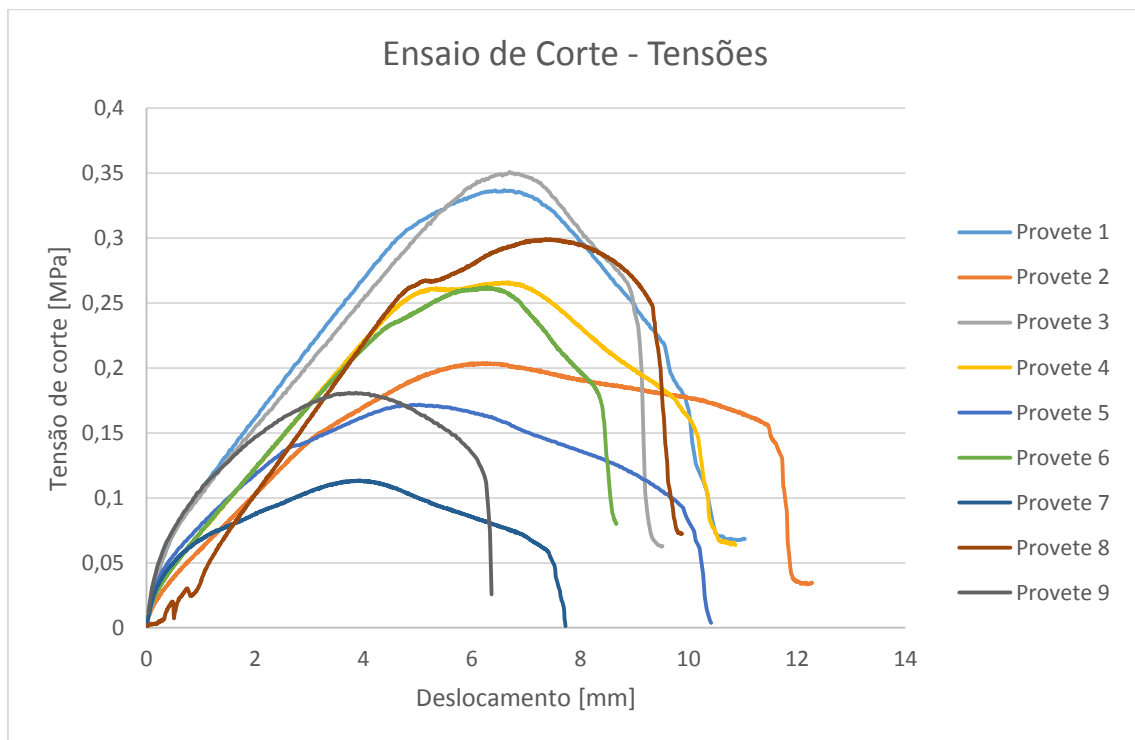


Gráfico 3

Os dados a que se deve ter mais atenção são os das tensões máximas. Estes dados resultam do cálculo da carga suportada pela selagem dividida pela área de contacto entre o vidro e o silicone multiplicada por 2.

$$\text{Tensão de corte} \rightarrow \tau = F/A$$

Desta forma consegue-se fazer um cálculo da média das tensões de corte máximas e a partir daí determinar qual a carga máxima que uma área de silicone correspondente a um vidro com um altura de 3210mm suportaria.

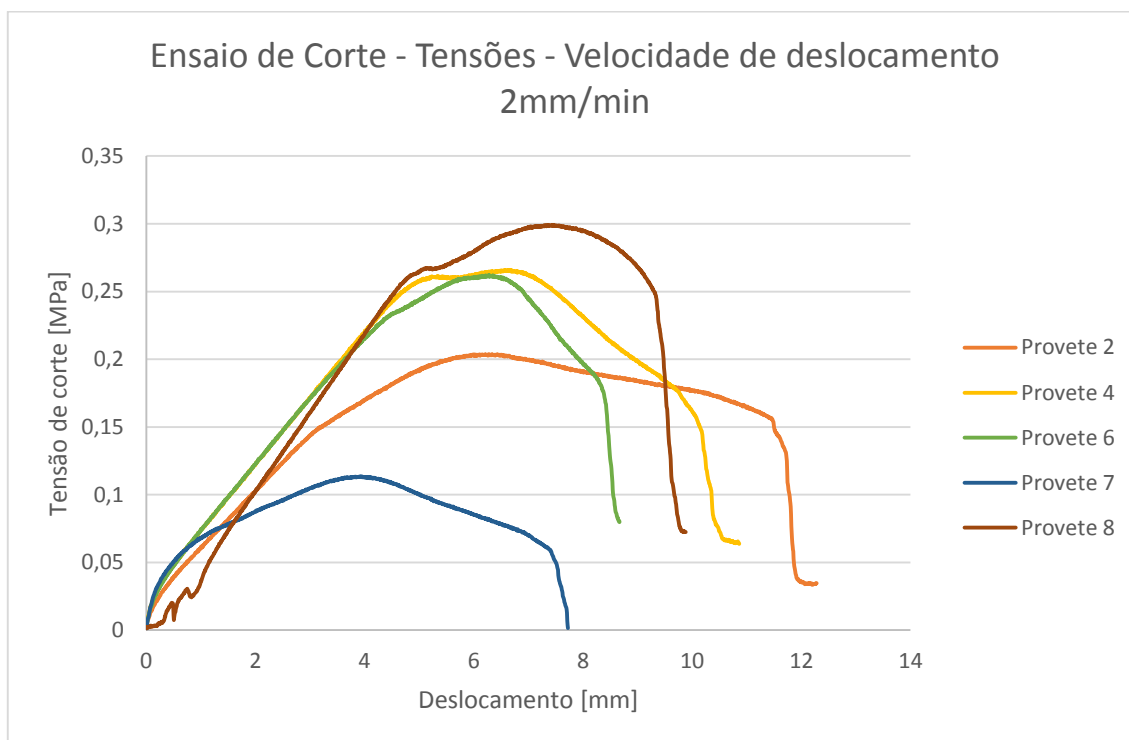


Gráfico 4

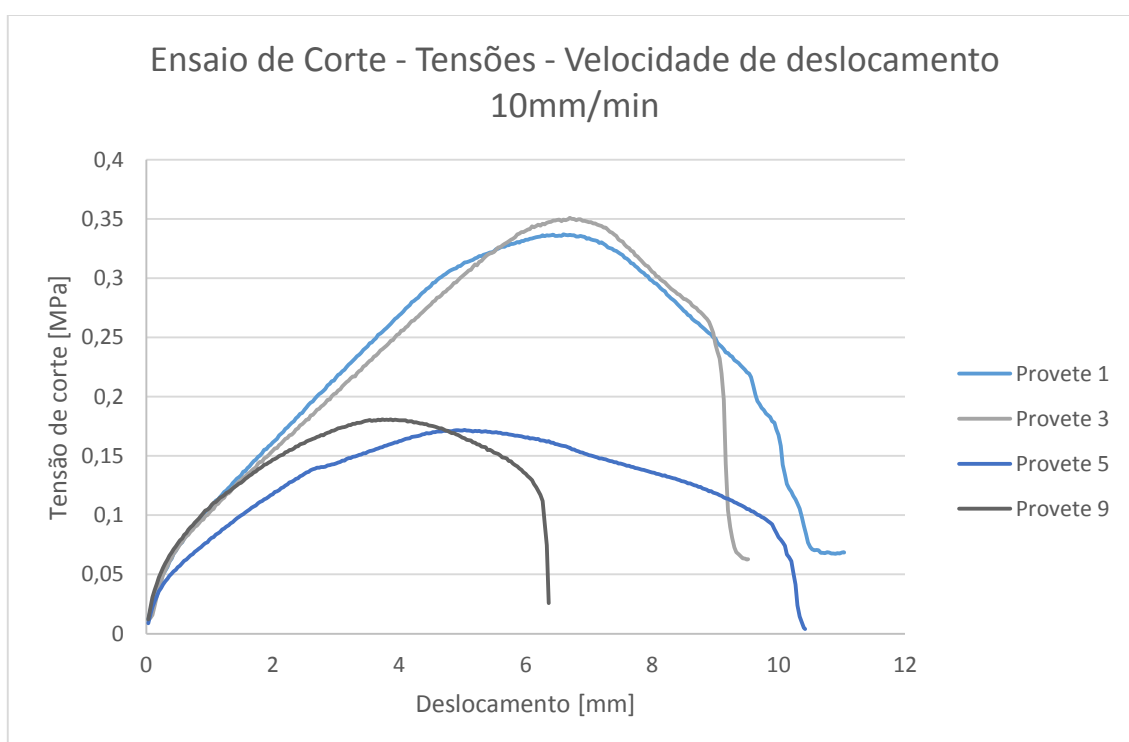


Gráfico 5

Analisando os ensaios separados pela sua velocidade de deslocamento é visível que os resultados não foram uniformes. Existe uma grande variação da tensão suportada pelos provetes e sabendo que o silicone utilizado pertence todo ao mesmo lote conclui-se que a causa para esta disparidade será a eventual má construção de alguns provetes.

Ainda assim, mesmo com alguns provetes a revelarem-se menos resistentes que os outros, calculou-se a média dos resultados das tensões máximas. De seguida calculou-se qual a área resistente das selagens de um vidro com 3210mm de altura utilizando uma selagem de 4mm de espessura. Depois com o valor da tensão máxima média e o valor da área resistente da selagem determinou-se qual seria a carga máxima suportada pela selagem.

*Média da tensão máxima* = 0,242809 MPa

*Área resistente das selagens para um vidro de 3210mm de altura* = 67410mm<sup>2</sup>

$$\tau = \frac{F}{A} \leftrightarrow 0,242809 = \frac{F}{67410} \leftrightarrow F = 16367,73N$$

Esta carga de 16367,73N corresponde a uma massa de 1668,47kg.

*Tensão máxima no pior caso* = 0,113581 MPa

*Área resistente das selagens para um vidro de 3210mm de altura* = 67410mm<sup>2</sup>

$$\tau = \frac{F}{A} \leftrightarrow 0,113581 = \frac{F}{67410} \leftrightarrow F = 7656,51N$$

Esta carga de 7656,51N corresponde a uma massa de 780,48kg.

Sabendo que um vidro com 6000x3210mm com 10mm de espessura pesa 481,5 kg, é evidente que mesmo no pior caso as selagens suportam o peso próprio do vidro. Acresce ainda o facto de apenas as selagens verticais terem sido analisadas nestes testes, um vidro duplo tem sempre os quatro lados selados, por isso a resistência real das selagens será sempre superior à dos provetes utilizados nos ensaios.

#### 6.3.4. Conclusões

Conclui-se então que utilizando selagens reduzidas de 4mm de espessura, a resistência estrutural de um vidro duplo fica assegurada.

### 6.4. Testes do sistema de controlo de pressão em vidros duplos

Estes testes servem para verificar a eficácia do sistema de válvula incorporado nos *toppings* dos vidros duplos.

Os modelos desenvolvidos foram impressos em 3D e montou-se a válvula ‘*short core valve*’ neles. Os vidros duplos usados nestes testes seguiram o processo normal de produção sendo apenas utilizados dois *toppings* diferentes.

Apesar de o material em que o *topping* é impresso ser diferente do material que se pretende para os *topping* de produção, decidiu-se fazer este teste para verificar se todas as funcionalidades que se pretendem do *topping* são conseguidas.

Com este teste pretende-se verificar:

- Se os modelos desenvolvidos são fáceis de utilizar;
- Se a montagem dos modelos nos perfis intercalares se mantém estável;
- Se o conjunto *topping*-válvula permite a injeção e extração de ar para a câmara-de-ar do vidro;
- Se o vidro duplo se mantém estanque.



Depois de terminada a produção do vidro duplo fez-se um pequeno corte no silicone que fica por cima da tampa do *topping*. Assim pode-se retirar a tampa e fazer a injeção de ar para o interior do vidro duplo.

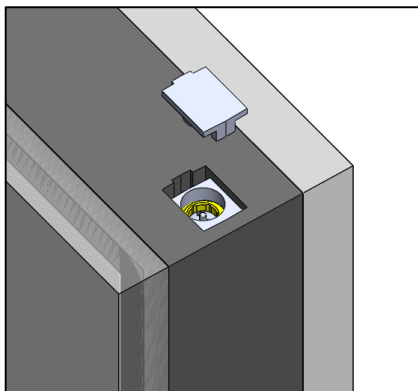


Figura 6. 1 – Funcionamento da tampa no teste 1

Os vidros duplos produzidos para estes testes têm 500mm x 500mm e perfil intercalar em alumínio de 20mm. Os vidros são arestados e temperados para aproximar o vidro de testes a uma situação real. A primeira selagem será feita com o butilo SikaGlaze IG 5 PIB e a segunda com o silicone Sikasil IG 25, com 7mm de espessura.

### Teste de passagem de ar

Este teste serve para verificar se é possível realizar a injeção de ar para o interior do vidro duplo. Para isso usa-se um tubo de 4mm de diâmetro ligado à linha de ar da fábrica e com este tubo pressiona-se a válvula, abrindo-a e injeta-se o ar no vidro duplo. Inicialmente tentou utilizar-se a ferramenta de aperto, mas depois de algumas utilizações verificou-se que era mais eficaz utilizar apenas o tubo.

A injeção do ar era feita através de uma das válvulas e na outra verifica-se se houve ou não passagem de ar através dela.

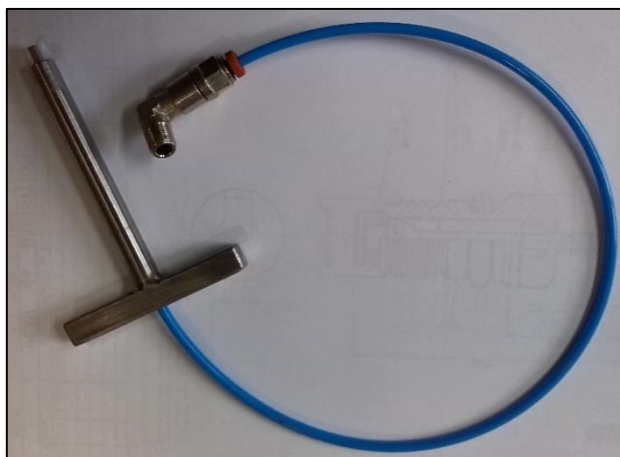


Figura 6-15 – Método para injeção de ar

### Teste de estanquicidade

Para se verificar se o vidro tem fugas optou-se por injetar ar nele e depois utilizar um *spray* detetor de fugas na zona das válvulas. Tendo em conta que não é possível monitorizar a pressão no interior do

vidro, este teste pode não ser o mais rigoroso, no entanto, este pareceu o método mais simples e rápido de se perceber se existiam fugas ou não.

#### 6.4.1. Teste #1

##### *Topping* utilizado

##### Modelo 14



Quando se enroscaram as válvulas nos *toppings* numa delas optou-se por colocar cola entre o *topping* e a válvula. Com isto pretendia-se ver se existe estanquicidade na zona de aperto da válvula. Como se pode ver na Figura 6-16 um dos *toppings* está marcado a preto na zona da tampa e este é o que tem a cola.



Figura 6-16 – *Toppings* com cola e sem cola

##### Montagem do vidro duplo

Durante o processo de montagem do vidro duplo notou-se que para aplicar o butilo no perfil intercalar era necessário trocar os *toppings*. Como o modelo desenhado tem uma saliência para acomodar a válvula, quando se coloca o perfil na passadeira da butiladora este não fica nivelado com ela, não sendo possível fazer uma distribuição do butilo satisfatória. A solução encontrada na altura foi trocar os *toppings* apenas para a aplicação do butilo, utilizando 4 *toppings* comuns, e depois trocar dois deles pelos *toppings* em desenvolvimento. Isto pode ainda trazer problemas de estanquicidade, porque os *toppings* que ficam no vidro não têm butilo, ficando uma pequena zona do vidro duplo sem a primeira selagem.



Figura 6-17 – Zona sem 1ª selagem

Depois da montagem do vidro duplo é necessário deixar o silicone curar durante 24 horas. Passado este tempo fizeram-se cortes no silicone na zona onde os *toppings* têm a tampa. Depois de removido o silicone necessário as válvulas ficam acessíveis. Nesta altura verificou-se que existe a possibilidade de algum do silicone invadir o espaço da válvula através da tampa, sendo por isso necessário melhorar o desenho da tampa.



Figura 6-18 – Imagens dos toppings no vidro duplo

De notar ainda a existência de alguns sais dissecantes encontrados no interior da câmara-de-ar do vidro duplo, isto indica que os sais conseguem atravessar as folgas existentes entre o *topping* e o perfil intercalar nomeadamente na zona do furo do *topping*.



*Figura 6-19 – Sais dissecantes que invadiram o espaço interior do vidro duplo*

### Teste de passagem de ar

Seguindo o procedimento descrito anteriormente verificou-se que este sistema de válvulas permite a injeção e extração de ar com sucesso.



*Figura 6-20 – Injeção de ar no vidro duplo*



### Teste de estanquicidade

Com este teste percebeu-se que a estanquicidade da janela não estava assegurada. Como se vê pela Figura 6-21, a formação de bolhas junto das válvulas denuncia a existências de fugas de ar.



Figura 6-21 – Teste de estanquicidade mal sucedido

Observando de mais perto, percebeu-se que na válvula da esquerda (Figura 6-22 esq.) a fuga de ar parecia ter origem na zona da rosca, e como esta válvula era a que não tinha cola na rosca conclui-se que esta seria a causa para a fuga de ar. Na válvula da direita (Figura 6-22 dir.) as bolhas pareciam formar-se no corpo da válvula e além disso era audível que a válvula não fechava completamente. Numa primeira análise julgou-se que seriam os sais dissecantes que poderiam ter-se introduzido na válvula impedindo o seu bom funcionamento, mas posteriormente verificou-se que o perfil onde a válvula estava aplicada não tinha sais no seu interior. Desconhece-se então a origem deste problema, podendo-se apenas afirmar que esta fuga se deveu a um defeito de funcionamento da válvula. Também se pode afirmar que a cola aplicada nesta válvula assegurou a estanquicidade entre a válvula e o *topping*.



Figura 6-22

### Problemas encontrados

1. Aplicação do butilo;
2. Silicone pode invadir a zona da válvula através da tampa;
3. Encaixe entre o *topping* e o perfil não é suficientemente forte;
4. Sais dissecantes invadem a camara de ar;
5. Fuga de ar na zona de aperto das válvulas;
6. Não funcionamento de uma das válvulas.

## Soluções

A saliência existente nos *toppings* é necessária para acomodar a válvula e não pode ser removida. Por isso uma possível solução para o problema 1 passaria por fazer a aplicação do butilo em 3 dos perfis intercalares unidos em forma de U e com *toppings* nas extremidades abertas para evitar a queda dos sais dissecantes. Depois no 4º perfil seriam aplicados os dois *toppings* com a válvula. Os *toppings* seriam montados de forma a que a sua saliência não tocasse na passadeira como se quer mostrar na Figura 6-23. Desta forma também se conseguia resolver o problema da falta de butilo nos cantos, porque com esta solução o *topping* com válvula já teria algum butilo aplicado faltando apenas o encaixe final. Outro problema que se resolveria é o do aparecimento de sais na câmara (problema 4) porque os furos dos *toppings* estão virados para o mesmo perfil, e este perfil não irá levar sais dissecantes por três razões: para evitar a passagem dos sais para a câmara; evitar que alguns sais entrem para a válvula impedindo o seu funcionamento; facilitar o escoamento do gás através do perfil.

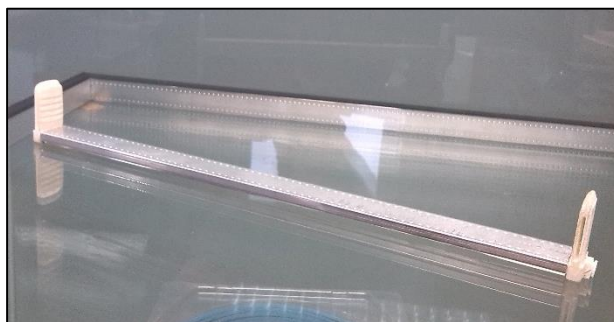


Figura 6-23 – Sugestão de montagem dos toppings no perfil

Para impedir que algum silicone entre na zona da válvula (problema 2) deve-se alterar o desenho da tampa, a solução adotada está na Figura 6-24.

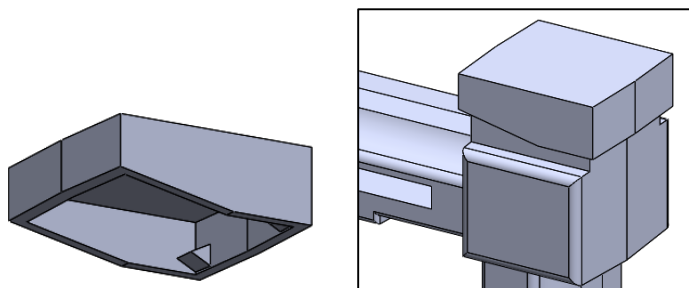


Figura 6-24 – Nova tampa

O problema 3 surge porque os modelos de *topping* utilizados foram alterados para acelerar e facilitar a impressão 3D. Estes modelos não têm as ranhuras necessárias para fazer um encaixe seguro entre o perfil e o *topping* (Figura 6-25). Para além disso os *toppings* tiveram ainda de ser lixados para conseguirem entrar no perfil porque a sua largura era superior ao espaço interior do perfil.

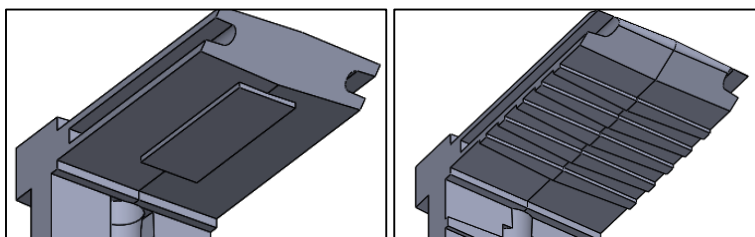


Figura 6-25 – Melhorias no topping utilizado

A fuga de ar pela zona de aperto da válvula (problema 5) era previsível e o facto de se ter optado por colocar cola numa delas já correspondia a uma solução possível para esta situação. A origem deste

problema pode estar na existência de folgas entre o *topping* e a válvula, o aperto da válvula não ter sido feito com o binário recomendado pelo fabricante ou ainda um desenho pouco eficaz da zona de acoplamento da válvula.

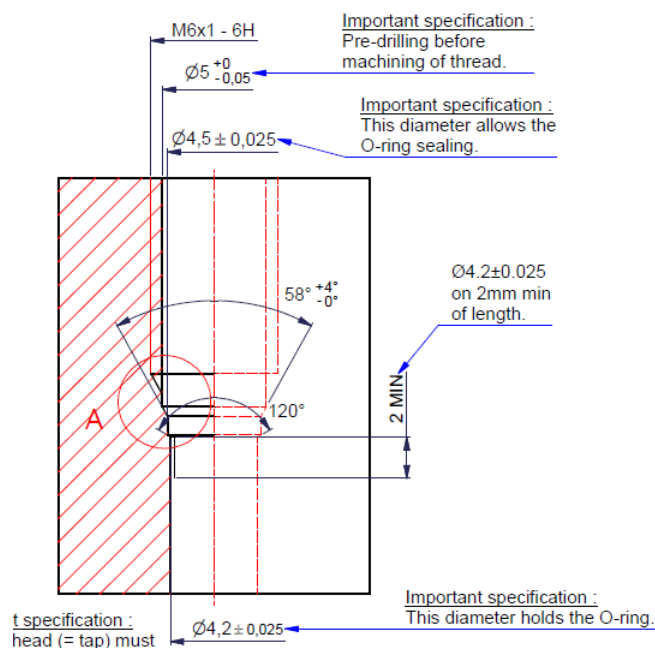


Figura 6-26 – Recomendações para o furo da válvula

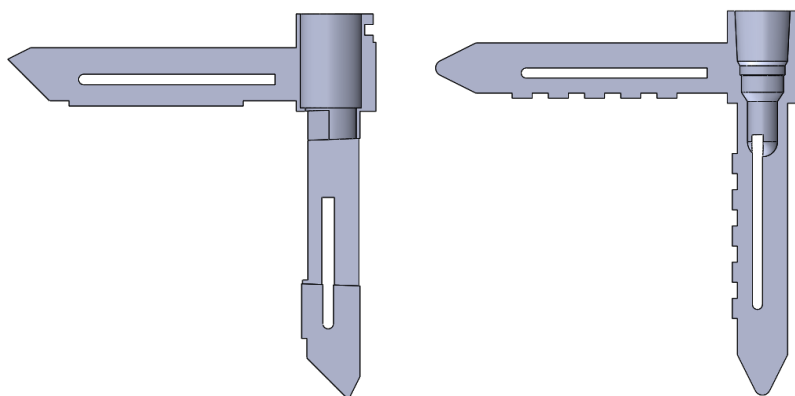


Figura 6-27

A imagem da esquerda da Figura 6-27 corresponde a uma vista em corte do *topping* utilizado nestes testes. Depois de se pedir mais informações ao fabricante *Schrader International* pode-se ver que formato do modelo não satisfaz as recomendações do fabricante. O modelo da direita foi alterado de maneira a que a válvula já possa ser apertada no *topping* de forma eficaz. Em relação ao binário de aperto o fabricante recomenda que este seja entre 0,4 e 0,6 N.m.

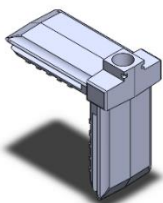

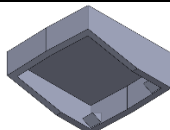

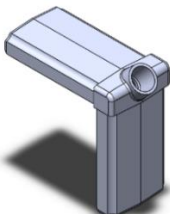



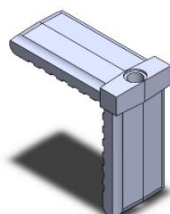

#### 6.4.2. Teste #2

Este segundo teste foi motivado por algumas falhas encontradas no 1º teste e pelos melhoramentos realizados aos modelos de *toppings*.



Os modelos utilizados para este teste foram os modelos 15, 16 e 17. Desta vez serão montados dois vidros duplos, um vidro utilizará dois *toppings* do modelo 15 e dois do modelo 17 enquanto o outro vidro utilizará dois *toppings* do modelo 16.

***Toppings* utilizados:**

	Modelo 3D	Protótipo
<b>Modelo 15</b>		
<b>Tampa</b>		
<b>Modelo 16</b>		
<b>Tampa</b>		
<b>Modelo 17</b>		

**Melhorias aplicadas:**

- Alteração no desenho dos modelos na zona de aperto da válvula;
- Alteração no desenho do modelo 16 para impedir a entrada de sais dissecantes na válvula;
- Alteração da tampa para o modelo 15;
- Modelos não foram simplificados para a impressão;
- Para o modelo 17, remoção da válvula para introdução direta da agulha de injeção de gás.

**Modelo 15****Modelo 16****Modelo 17**

### Montagem do vidro duplo

Registaram-se melhorias na aplicação do butilo uma vez que não apareceram as falhas nos cantos dos vidros que se viram no primeiro teste. Esta melhoria foi conseguida aplicando o butilo em cada secção de perfil intercalar individualmente, em seguida montou-se os *toppings* e por fim espalhou-se algum butilo nos cantos manualmente. É um processo que demora mais algum tempo que o normal, mas que no final se consegue a qualidade pretendida.

Durante a aplicação do silicone, notou-se que o sistema de medição de profundidade que o robot de aplicação de silicone tem, ao aproximar-se dos *toppings* nos cantos, deteta uma grande variação de profundidade e automaticamente aplica pouca quantidade de silicone nessa zona. Isto pode trazer problemas para a resistência estrutural do vidro duplo, mas esta é uma questão de afinação da máquina que pode ser corrigida pelo operador.



Figura 6-28 – Vidros duplos de teste

As imagens abaixo mostram que os problemas da aplicação do butilo nos cantos foram corrigidos.



Figura 6-29 – Problema nos cantos corrigido

No vidro de teste 1# as válvulas estão colocadas numa posição diagonal e neste vidro apenas foram utilizados os dois *toppings* do modelo 16.



Figura 6-30 – Modelo 16 no vidro de teste

No vidro de teste 2# foram utilizados dois modelos de *toppings* diferentes. Dois *toppings* são do modelo 15 e outros dois são do modelo 17.



Figura 6-31 – Modelos 15 e 17 instalados no vidro de testes

No modelo 17 começou-se por testar se o furo existente na peça permitia a introdução da agulha de gás. Aqui percebeu-se que o diâmetro do furo não deixava a agulha passar. No entanto, antes da montagem do vidro duplo, este teste já tinha sido realizado com sucesso, o que leva a crer que durante o processo de construção do vidro duplo os *toppings* se deformaram. Isto foi corrigido aumentando o diâmetro do furo para 4mm e com a utilização de novos parafusos.

### Teste de passagem de ar

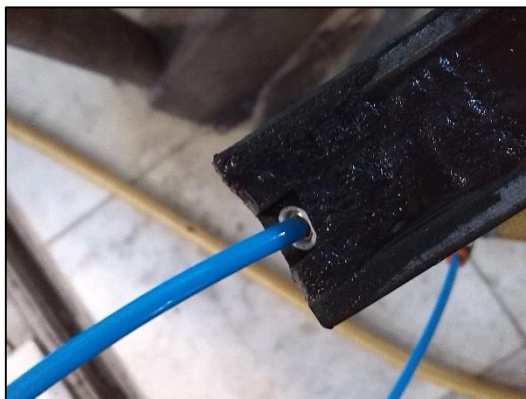


Figura 6-32 – Injeção de ar no vidro duplo

Este teste foi bem-sucedido para os modelos 15 e 16. No caso do modelo 17 não se realizou este teste pois como este modelo apenas tem um furo simples a passagem de ar está sempre assegurada.

### Teste de estanquicidade

Para o vidro 1#, com o modelo de *topping* 16, a estanquicidade não foi assegurada sendo visíveis as bolhas de ar que se formam junto da válvula.



Figura 6-33 – Falta de estanquicidade no modelo 16

Para tentar resolver este problema utilizou-se num dos *toppings* um vedante para colocar na rosca da válvula, mas mesmo assim existiam fugas. As válvulas utilizadas nestes *toppings* eram novas e por isso se descarta a possibilidade de desgaste da válvula. Estes *toppings* também já têm a cavidade para alojamento da válvula com as características recomendadas pelo fabricante de válvulas. Assim não se conseguiu chegar a uma conclusão sobre a causa deste problema, não se sabe se se deve ao material do *topping*, deformações do mesmo ou ineficiência da própria válvula.

No vidro 2# verificou-se o mesmo problema que no vidro 1#. Os *toppings* que utilizam válvulas, modelo 15 neste caso, tem fugas de ar sem ser evidente a sua origem. Para tentar obter uma solução para o



problema optou-se por usar cola numa das válvulas e realizar novamente o teste, mas mais uma vez verificaram-se as fugas de ar na zona da válvula.

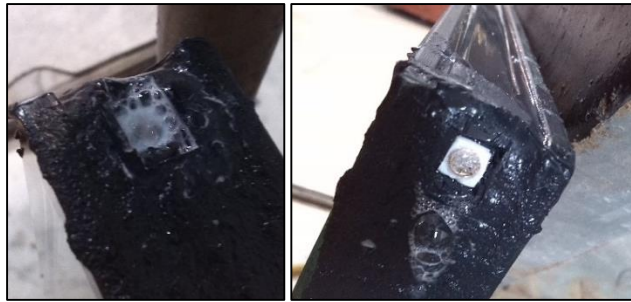


Figura 6-34 – Fugas de ar no modelo 15

No vidro 2# também estavam instalados os *toppings* do modelo 17 e para realizar os testes de estanquicidade utilizaram-se as válvulas dos modelos 15 para se fazer a injeção de ar e para verificar se havia fugas colocou-se o *spray* detetor nos modelos 17.



Figura 6-35 – Modelo 17 sem estanquicidade

Nos *toppings* do modelo 17 também existiram fugas de ar, mas isto deveu-se ao facto dos *o-rings* utilizados não terem o tamanho certo para o parafuso e para o furo. O problema foi resolvido com sucesso utilizando uma quantidade generosa de fio vedante na rosca do parafuso.



Figura 6-36 – Modelo 17 sem fugas de ar

Com as dificuldades que se tem sentido para obter estanquicidade nos *toppings* que utilizam válvulas decidiu-se fazer um outro teste para tentar verificar a eficácia delas. Admitindo que o material utilizado na impressão dos *toppings* não é o mais indicado decidiu-se também fazer a montagem das válvulas num outro material.

#### **\*Teste de verificação das válvulas**

Para se tentar perceber a razão das constantes fugas de ar nas válvulas ‘*short valve core*’ decidiu-se fazer uma experiência. Primeiro começou-se com um teste rápido enroscando a válvula numa das pontas de um pequeno tudo e ligando a outra ponta à linha de ar comprimido. Este tubo era em Poliuretano com diâmetro exterior de 8mm e o interior de 5mm.



*Figura 6-37 – Válvula instala num tubo para teste de eficácia*

Na primeira tentativa, assim que aumentou a pressão no interior do tubo foi perceptível a fuga de ar entre o tubo e válvula. Então, o próximo passo passou por colocar cola na rosca da válvula e ligar novamente o tubo à linha de ar comprimido. Desta vez, o teste de estanquicidade foi bem-sucedido sem que fosse evidente a existência de fugas. Mesmo utilizando o *spray* anti fugas não houve evidências de fugas.



*Figura 6-38 – Teste bem-sucedido*

Assim, acredita-se que se pode atestar a qualidade da válvula ‘short valve core’ e pode-se atribuir a responsabilidade do fracasso dos testes aos *toppings* ao material em que é feita a impressão 3D. O próximo passo passa por tentar obter os modelos tridimensionais por um processo de impressão que utilize outro material e repetir os testes de vidro duplo.

#### **6.4.3. Teste #3**

Com o terceiro teste, pretende-se testar *toppings* num material diferente do utilizado anteriormente. Desta vez os *toppings* foram obtidos por um método de impressão 3D que utiliza ABS, um método mais dispendioso mas que se acredita ser mais resistente.

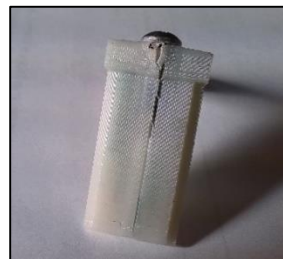
**Modelo 15**



**Modelo 16**



**Modelo 17**



As diferenças na qualidade de impressão entre os modelos produzidos em PLA e ABS são evidentes sendo que as de ABS têm uma qualidade superior. No entanto, logo após as primeiras tentativas de apertar as válvulas nos *toppings*, ficou evidente que a resistência nestes novos modelos era inferior aos de PLA. Ao apertar as válvulas o material começou a ceder e apareceram fendas na superfície dos *toppings*.

Para se tentar contornar estes problemas aplicou-se cola na rosca das válvulas e ainda butilo nas zonas mais problemáticas. Apesar de estes modelos não estarem em boas condições decidiu-se realizar o teste na mesma.

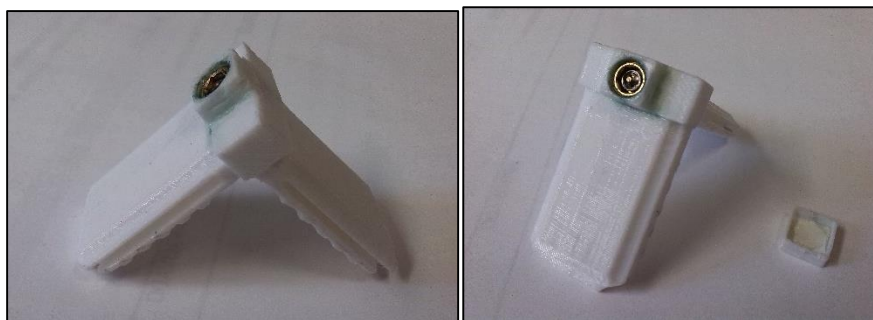


Figura 6-39 – Modelo 15 em PLA

### Melhorias aplicadas:

- Alteração do material utilizado para impressão dos *toppings*;

### Montagem do vidro duplo

Quando se fez a montagem dos *toppings* nos perfis intercalares, não foi possível utilizar o modelo 17 porque este acabou por ficar destruído depois de lhe ser apertado o parafuso necessário para o seu funcionamento. O teste resume-se então à utilização dos modelos 15 e 16 em ABS e ao modelo 15 em PLA.



Figura 6-40 – Vidro duplo para teste #3



Depois do silicone secar, retirou-se a selagem que fica por cima das tampas e voltou-se a verificar que estas são eficazes a impedir a invasão de silicone para o interior das válvulas.



*Figura 6-41– Toppings instalados no vidro de teste*

### Teste de passagem de ar

Este teste correu bem para os modelos 15 em PLA e 16 em ABS, no caso do modelo 15 em ABS verificou-se que a válvula estava presa e não permitia a passagem de ar.



### Teste de estanquicidade

O modelo 16 em ABS não teve vedação suficiente surgindo bolhas no *spray*, mesmo com a cola que se colocou na rosca da válvula.

Para o modelo 15 em PLA também não se conseguiu uma ligação estanque entre o *topping* e a válvula. No entanto, aqui, apos a desmontagem da válvula do *topping* para se verificar algum defeito, notou-se que existia cola no o-ring o que impedia o fecho completo da válvula.

Como já foi referido anteriormente no modelo 15 em ABS a válvula estava presa e não foi possível a injeção de ar através dela, ainda assim foi possível verificar que para além desse problema ela não era estanque como se pode ver pela Figura 6-42 na imagem mais á direita.




Figura 6-42 – Modelo 15 em ABS sem sucesso

Este teste não foi bem-sucedido. Tinha-se o objetivo de utilizar um novo material para os modelos, o ABS de impressão 3D, a fim de se obter a estanquicidade desejada. Teoricamente este material deveria ser mais duro e resistente que o PLA utilizado anteriormente mas logo que se apertaram as válvulas nos *toppings* foi perceptível a fragilidade deste ABS.

#### 6.4.4. Teste #4

Desta vez o *topping* utilizado não foi obtido por impressão 3D mas sim por um método artesanal partindo de um pequeno bloco de *nylon* que foi esculpido para se obter a forma aproximada dos *toppings* que se pretendem utilizar. Apesar de o formato alcançado não ser perfeito as funcionalidades de acomodação da válvula e união dos perfis intercalares foram alcançadas.

#### ***Toppings* utilizados:**

Protótipo	
Modelo em <i>nylon</i>	

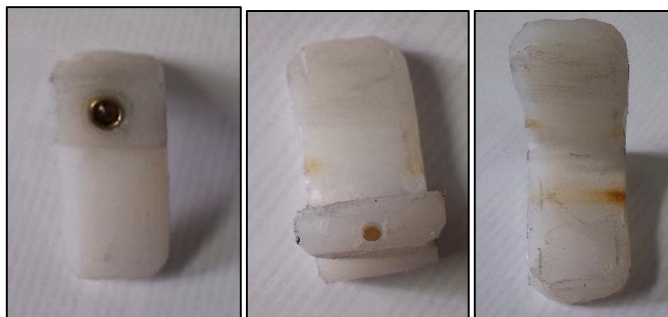


Figura 6-43 – Diferentes vistas do topping em nylon

### Melhorias aplicadas:

- Alteração do material utilizado para o *topping*, nylon.

### Montagem do vidro duplo

Como este *topping* não utiliza nenhuma tampa, a aplicação do silicone pelo robot não trouxe nenhum problema uma vez que não existia nenhum relevo exagerado.



Figura 6-44 – Vidro duplo montado para teste

A Figura 6-45 mostra a válvula instalada no *topping*.

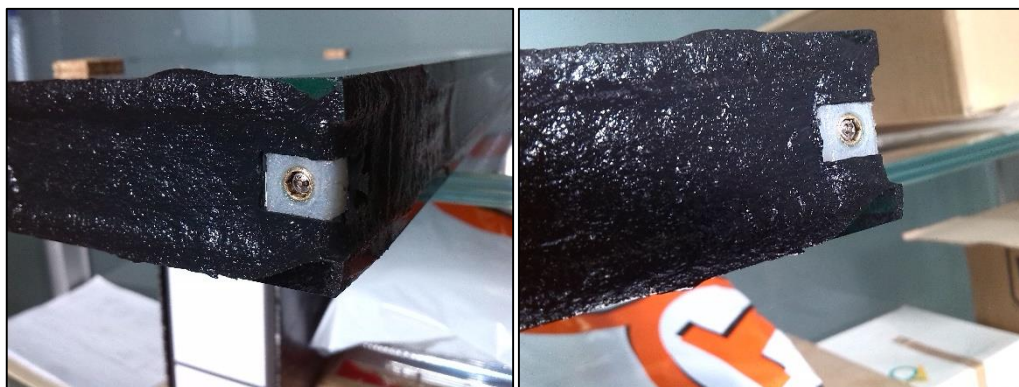


Figura 6-45

### Teste de passagem de ar

Ao contrário do que se fez nos testes anteriores, como este vidro apenas tinha uma válvula, a injeção e extração de ar foi feita pela mesma válvula. Assim aumentava-se a pressão no interior do vidro injetando

ar pela válvula e passados alguns segundos aliviava-se a pressão pela mesma válvula. Este teste foi bem-sucedido.



Figura 6-46 – Injeção de ar no vidro duplo

### Teste de estanquicidade

Para este teste, como anteriormente, fez-se a injeção de ar para o interior do vidro duplo aumentando a pressão no seu interior e depois utilizou-se um *spray* detetor de fugas para tentar identificar as fugas existentes na zona da válvula.



Figura 6-47 – Teste de estanquicidade bem-sucedido

Como se pode ver pela Figura 6-47 foi obtida estanquicidade na zona da válvula. Pode-se então confirmar que a razão para o fracasso nos testes anteriores estava no material utilizado nos *toppings*. Este teste serviu para confirmar o *nylon* pode ser utilizado para este projeto sendo que é necessária atenção em relação ao tipo de *nylon* selecionado. Não foi possível determinar qual o *nylon* em concreto, mas com o estudo de seleção de matérias também realizado neste projeto, determinaram-se alguns tipos possíveis de ser utilizados.



## 7. CONCLUSÃO

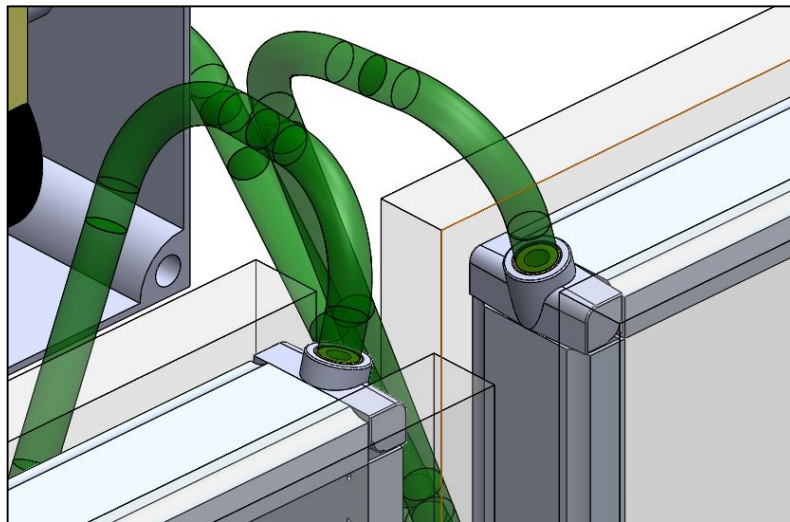
Durante este projeto desenvolveu-se com sucesso um sistema que permite controlar a pressão dos gases no interior de vidros duplos e triplos. Este sistema consiste na utilização de um *topping* novo, que permite a incorporação de uma válvula e assim controlar a pressão no interior do vidro. O conjunto de testes realizados durante o projeto comprovam a eficácia do sistema, verificando-se que é possível fazer o ajuste da pressão e que a estanquicidade do vidro duplo ou triplo é garantida.

Outro objetivo do projeto era perceber se a redução da espessura da selagem comprometia a integridade estrutural dos vidros duplos e triplos. Para isso foi necessário desenvolver métodos de teste para comprovar a resistência das selagens utilizadas. Com estes testes conclui-se que a redução da selagem era viável e que esta não comprometia a resistência estrutural dos vidros.

### 7.1. Proposta de melhorias futuras

Este projeto pode ainda ser alvo de evoluções. Na fase final do projeto surgiu a ideia de fazer uma monitorização permanente da pressão no interior os vidros duplos e fazer os ajustes de pressão necessários automaticamente.

Tendo isto em mente fez-se um esboço rápido do que poderia ser uma possível solução para esta situação. Se em vez de se utilizar uma válvula no *topping*, se utilizasse apenas uma inserção com uma rosca interior, seria possível ter um tubo ligado ao *topping* e ao interior dos vidros. Este tubo por sua vez estaria ligado a um sensor de pressão e a uma electroválvula. O sensor faria a monitorização da pressão no interior do vidro e comandaria a abertura da electroválvula consoante a necessidade. Existiriam também unidades de controlo que fariam a gestão dos diferentes componentes e ainda um depósito pressurizado para os gases e um compressor.



O funcionamento deste mecanismo seria o seguinte: medindo a pressão no interior do vidro e comparando com a pressão atmosférica determina-se se é necessário injetar ou retirar ar do interior do vidro. Caso fosse necessário retirar gás do interior do vidro, abre-se a electroválvula e o compressor é acionado tirando ar do interior do vidro para o depósito pressurizando-o. Caso seja necessário aumentar a pressão no interior do vidro abre-se a electroválvula e a diferença de pressão entre o depósito e a câmara-de-ar faz com que o gás circule facilmente para o interior do vidro.



Com esta solução seria possível o controlo permanente e remoto da pressão no interior dos vidros evitando as distorções provocadas pelas variações de pressão no interior dos vidros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Borrego, Luís Filipe Pires; Pereira, Christof dos Santos (2013) “Estado da arte Projeto SUPERGLASS”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- [2] Saint-Gobain Glass Portugal (2008) “Manual do Vidro”
- [3] Pilkington Polska Sp (2014) “Glass Handbook”
- [4] Guardian Industries Corp, “Manual Técnico”
- [5] <http://sigahui.org/vidromax/pt-pt/empresa/historia> (ADAPTADO)
- [6] <http://www.visionwall.com/#glazing>
- [7] [http://educationcenter.ppg.com/glassttopics/learn\\_about\\_glass.aspx](http://educationcenter.ppg.com/glassttopics/learn_about_glass.aspx)
- [8] <http://pt.verallia.com/o-vidro/historia>



## ANEXOS

### Anexo 1 – Fichas de produto

vidromax		FICHAS DE PRODUTO			
<u>Descrição do produto</u>					
Nome	Código	Altura [mm]	Largura [mm]	Esp. [mm]	
LamiGlass 10 mm Sound R	L10 R.001	3210	6000	10	
<u>Processos</u>					
	Data	Defeitos	Observações		
Tempera			Não temperável		
Aresta	04/02/2014	Sem defeitos			
<u>Combinação</u>					
Data de início: 10/02/2014					
Vidro Duplo/Vidro Triplo					
Vidro 1	Exp. 1	Vidro 2	Exp. 2	Vidro 3	
F12 011	10mm	L10 R.001	10mm	LU12 010	
	Selante	Resultado			
1ª Selagem	SikaGlass IG-S PIB	Sem separação			
2ª Selagem					
<u>Resultados da combinação</u>					
Defeitos	Observações				
Nenhum	Nos vidros triplos o principal problema é o desequilíbrio de massa entre os vidros. A variação de espessura dos vidros deve ser baixa.				

#### Considerações finais

Nos vidros triplos com caixa de 10mm as melhores combinações são aquelas que têm dois vidros de 12mm e um de 10mm. No entanto a preferência cai sobre a combinação 12mm/10mm/12mm. Deve-se favorecer o equilíbrio do vidro triplo utilizando vidro de espessuras aproximadas, para um bom desempenho da janela tripla aquando da sua instalação.



## FICHAS DE PRODUTO

### Descrição do produto

Nome	Código	Altura [mm]	Largura [mm]	Esp. [mm]
UltraClear 4mm	FU4 003	3210	6000	4

### Processos

	Data	Defeitos	Observações
Têmpera	26/05/2014	Quebra	
Areia			

### Combinação

Data de início:

Vidro Duplo/Vidro Triplo

Vidro 1	Esp. 1	Vidro 2	Esp. 2	Vidro 3

### Resultados da combinação

Defeitos	Observações

### Considerações finais



## FICHAS DE PRODUTO

Descrição do produto

Nome	Código	Altura [mm]	Largura [mm]	Esp. [mm]
SunGuard SN 70/41 8mm	SNS 004	3210	6000	8

Processos

	Data	Defeitos	Observações
Tempera	16/09/2014	Sem quebra	
Aresta			

Combinação

Data de início: 16/09/2014

Vidro Duplo

Vidro 1	Esp. 1	Vidro 2
LS 007	14mm	SNS 004

	Selante	Resultado
1ª Selagem	SikaGlass IG-5 PIB	Sem separação
2ª Selagem	Sikasil IG-25	Sem separação (é comum colocar-se fita cola nos cantos do vidro de grandes dimensões apenas por prevenção).

Resultados da combinação

Defeitos	Observações
Nenhum	Perfil pouco vantajoso para o processo de fabrico

Considerações finais

O tipo de perfil mais vantajoso no processo de fabrico para os vidros duplos são os de 20mm, 22mm e 27mm. O desequilíbrio de massa entre os dois vidros causado pela diferença de espessura, no caso dos vidros duplos, não é crítico uma vez que as diferenças de espessura são reduzidas, o que não comprometerá o funcionamento do sistema de janela no futuro.

## Anexo 2 – Resultados de testes analisados

Tabela 2 – Terminologia dos vidros testados

Cód.	Vidros	Cód.	Vidros
F 4	Float 4mm	L 6	Lamiglass 6mm
F 5	Float 5mm	L 6	LamiGlass translucido 6mm
F 6	Incolor 6mm	L 6	LamiGlass translucido 8mm
F 8	Incolor 8mm	L 8	LamiGlass 8mm
F10	Incolor 10mm	LUC 8	LamiGlass ultra clear 8mm 4.4.6.
F12	Float 12mm	L10	LamiGlass 10mm 5.5.1
FU 4	UltraClear 4mm	L10	LamiGlass 10 mm Saund R
FU 6	UltraClear 6mm	LU10	LamiGlass ultra clear 10mm 5.5.6
FU 8	Ultra clear 8 mm	LU12	Lamiglass ultra clear 12mm 6,6,4
FU10	UltraClear 10mm	LU12	LamiGlass ultra clear 12mm 6,6,2.
FU12	Ultra clear 12mm	L12	LamiGlass 12mm
CP 4	Climaguard Premium 4mm	L12	LamiGlass transl 12mm 6.6.1
CP 6	Climaguard Premium 6mm	L16	LamiGlass 16mm
CP 8	Climaguard Premium 8mm	CPL10	Climaguard Premium Lami 10mm
CPT10	Climaguard Premium T 10mm	CPL12	Climaguard Premium Lami 12mm
CPT 6	Climaguard Premium T 6mm	L 8	LamiGlass 8mm
CPT 8	Climaguard Premium T 8mm	L 6	SGG Stadip 6V4.1 V
ST 6	SGG Cool-Lite ST450 6mm		
ST 8	SGG Cool-Lite ST450 8mm		
HS 6	Sunguard HS 62/34 HT 6mm		
HS 8	Sunguard HS 62/34 HT 8mm		
HS10	Sunguard HS 62/34 HT 10mm		
HS 8	Sunguard HS 70/41 HT 8mm		
HS10	Sunguard HS 70/41 HT 10mm		
SN8	SunGuard SN 70/41 8mm		
GS6	Guardian Sun 6mm		

Tabela 3 – Resultados dos testes de aresta e têmpera em vidro monolítico

Código	Chapas Utilizadas	Têmpera		Aresta	
		✓	✗	✓	✗
F 4	14	1	9	1	3
F 5	33	5	23	3	2
F 6	131	41	59	18	13
F 8	70	45	20	3	2
F10	56	38	12	6	0
F12	16	12	2	2	0
FU 4	8	1	7		
FU 6	10	6	4		
FU 8	15	10	3	2	0
FU10	12	8	2	2	0
FU12	4	3	1		
CP 4	5			1	4
CP 6	10			4	6
CP 8	1			1	0
CPT10	5	3	2		
CPT 6	15	5	10		
CPT 8	13	10	3		
ST 6	9	3	5	1	0
ST 8	28	17	9	1	1
HS 6	1	0	1		
HS 8	6	4	2		

HS10	1	1	0		
HS 8 70-41	2	1	1		
HS10 70-41	1	1	0		
SN 8	11	4	3	3	1
GS 6	5	1	4		
L 6	8			1	7
L 6 TR	2			0	2
L 8	41			21	20
LUC 8	3			1	2
L10	8			5	3
L10 R	1			1	0
LU10	1			0	1
LU12	13			4	9
LU12.2	3			2	1
L12	8			6	2
L12 TR	2			2	0
L16	1			0	1
CPL10	4			0	4
CPL12	4			0	4
L 6 SSG	1			0	1
TOTAIS	582	220	182	91	89
TAXA DE SUCESSO		55%		51%	

Tabela 4 – Resultados dos testes de aresta em vidros laminados

Código	Chapas Utilizadas	Aresta	
		✓	✗
L 6	8	1	7
L 6 TR	2	0	2
L 8	41	21	20
LUC 8	3	1	2
L10	8	5	3
L10 R	1	1	0
LU10	1	0	1
LU12	13	4	9
LU12.2	3	2	1
L12	8	6	2
L12 TR	2	2	0
L16	1	0	1
CPL10	4	0	4
CPL12	4	0	4
L 6 SSG	1	0	1
TOTAIS	100	43	57
TAXA DE SUCESSO		43%	

Tabela 5 – chapas utilizadas nos diferentes testes

Código	Chapas Utilizadas	Combinações	1ª Selagem	2ª Selagem	Redução	Árgon
F 4	14					
F 5	33					
F 6	131	18	0	18	1	4
F 8	70	45	14	30	5	14
F10	56	44	20	24	7	15
F12	16	11	8	3	1	2
FU 4	8					
FU 6	10					
FU 8	15	12	5	7	1	3
FU10	12	9	5	4	0	2
FU12	4	3	3	0	0	0

CP 4	5					
CP 6	10					
CP 8	1	1	1	0	0	0
CPT10	5	3	2	1	0	1
CPT 6	15					
CPT 8	13	10	7	3	0	1
ST 6	9	1	0	1	0	1
ST 8	28	18	9	9	1	1
HS 6	1					
HS 8	6	4	2	2	2	0
HS10	1	1	0	1	0	0
HS 8 70-41	2	1	1	0	0	0
HS10 70-41	1	1	0	1	0	1
SN 8	11	4	1	3	1	0
GS 6	5					
L 6	8					
L 6 TR	2					
L 8	41	21	10	10	0	4
LUC 8	3	1	0	1	0	0
L10	8	5	3	2	1	0
L10 R	1	1	1	0	1	0
LU10	1					
LU12	13	4	2	2	0	2
LU12.2	3	2	0	2	1	0
L12	8	6	2	4	0	1
L12 TR	2	2	0	2	0	1
L16	1					
CPL10	4					
CPL12	4					
L 6 SSG	1					
TOTAIS	582	228	96	130	22	53

Tabela 6 – Testes realizados para os diferentes perfis

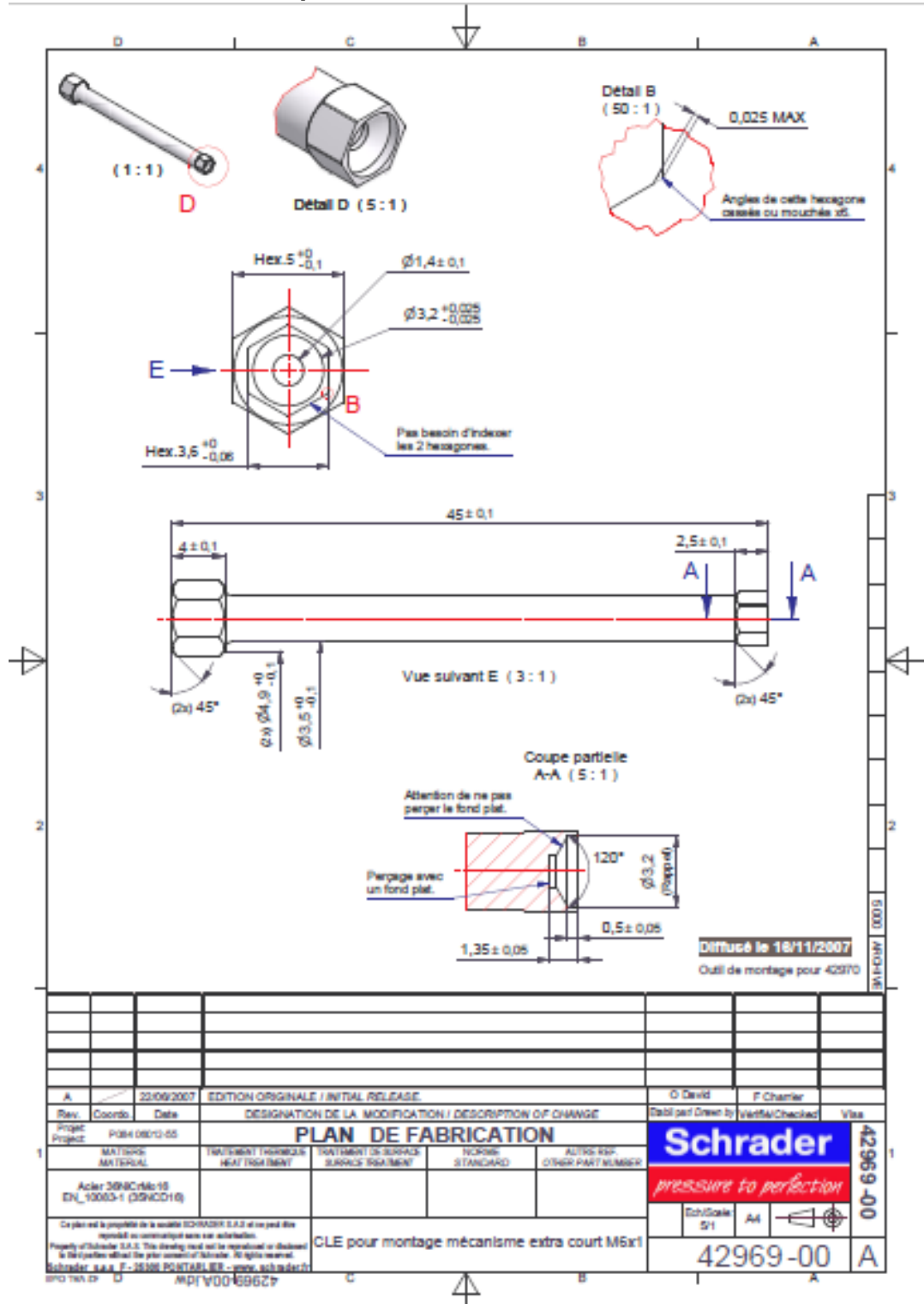
Testes de combinação	Número de testes	Chapas Utilizadas
Vidros Duplos	36	72
caixa 10mm	1	2
caixa 12mm	1	2
caixa 14mm	4	8
caixa 16mm	3	6
caixa 18mm	5	10
caixa 20mm	6	12
caixa 22mm	8	16
caixa 27mm	8	16
Vidros Triplos	52	156
caixa 10mm	9	27
caixa 12mm	11	33
caixa 14mm	9	27
caixa 16mm	18	54
caixa 14mm/16mm	5	15
Total	88	228

*Tabela 7 – Testes de 1ª e 2ª selagem, redução de selagem e utilização de árgon*

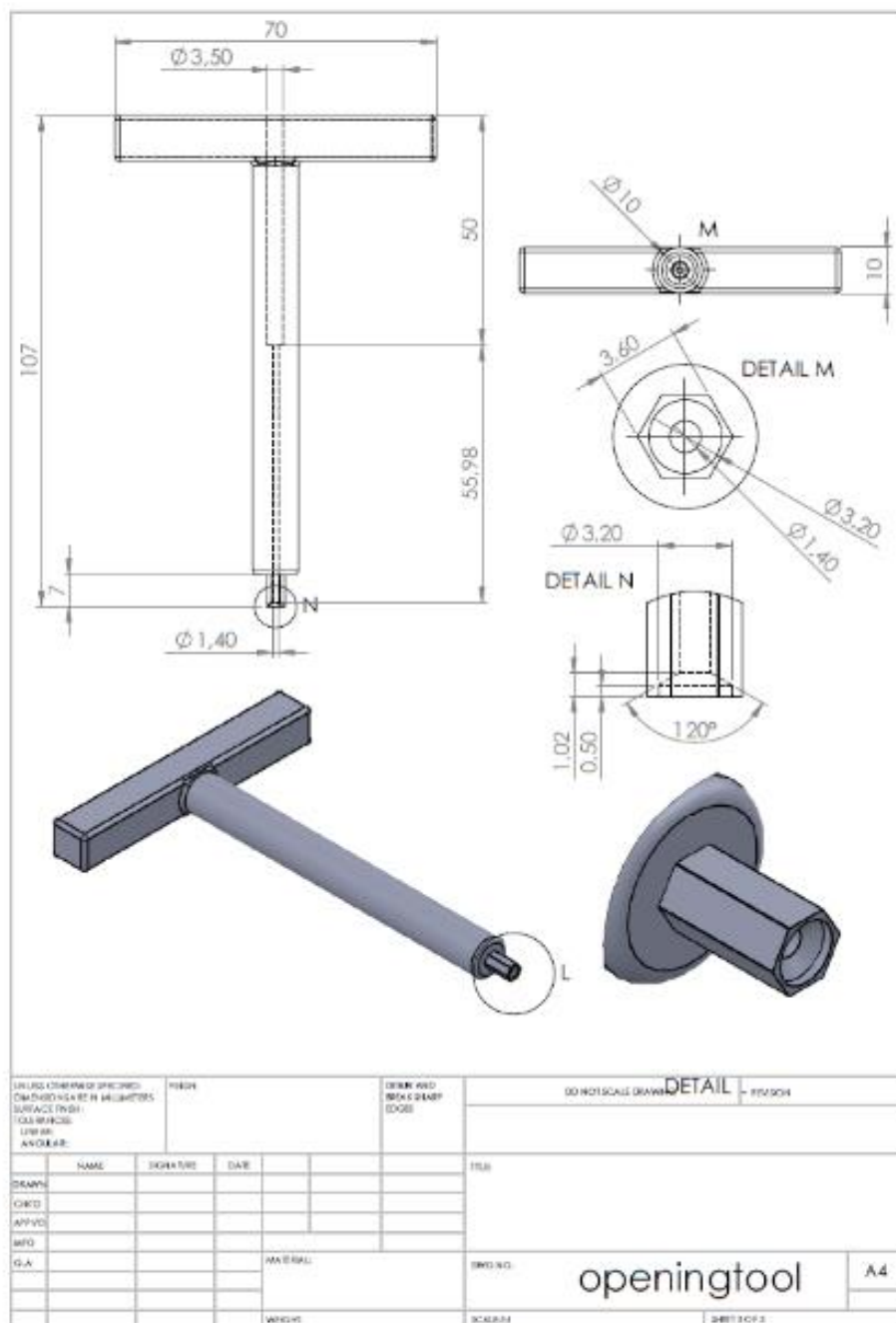
	Número de testes	Chapas Utilizadas
Testes de 1ª selagem	40	96
Testes de 2ª selagem	48	130
Testes de redução de selagem	8	22
Testes de Gás Árgon	20	53



## Anexo 3 – Ferramenta de aperto Schrader



#### Anexo 4 – Ferramenta de aperto produzida



---

## Anexo 5 – Dimensões dos provetes ensaiados

